
S
633
M35
1898
Thaer-Bibliothek
UC-NRLF
$B 277 649
Ernährung
der
KULTURPFLANZEN
VON
A. MAYER
YB 16606

Verlagsb… annstr. 10.

Jeder Band … is des Bandes
einzeln käuflich … en geb. 2 M. 50 Pf.



Wolff's Land… 6. Auflage.
Wolff's Prak… 13. Auflage.
Getreidebau … t. 2. Auflage.
Risler's Weiz… stedt.
Wiesen- und … 4. Auflage.
Landw. Futte… 3. Auflage.
Braugerste v… nte Preisschrift.
Hopfenbau vo… nte Preisschrift.
Anbau der H…
Tabaksbau vo… 3. Auflage.
Kartoffelbau … 3. Auflage.
Rübenbau von… 7. Auflage.
Lupinen- und… 9. Auflage.
Flachsbau un…
Urbarmachun… Buerstenbinder.
Praktische B… 2. Auflage.
Ernährung d… in Wageningen.
Krankheiten …
Käufliche Dü… 4. Auflage.
Rindviehzuch… 4. Auflage.
Die Milch un…
May's Schwei… 4. Auflage.
Milchwirtschaft von Dr. William Loebe in Leipzig. 2. Auflage.
Gesundheitspflege der landw. Haussäugetiere von Med.-Rat Prof. Dr. Johne in Dresden.
Eingeweidewürmer der Haussäugetiere von Dr. J. Dewitz in Berlin.
Aeussere Krankheiten der ldw. Haussäugetiere von E. Zorn, Kgl. Korpsrossarzt.
Innere Krankheiten der ldw. Haussäugetiere von F. Grosswendt, Kgl. Oberrossarzt.
Physiologie und Pathologie der Haussäugetiere von F. Flemming, Tierarzt in Lübz.
Heilungs- und Tierarzneimittellehre von F. Flemming, Grossh. Tierarzt in Lübz.
Landw. Giftlehre von Dr. G. Müller, Professor in Dresden.
Englischer Hufbeschlag von H. Behrens, Lehrschmied in Rostock. 2. Auflage.
Reiten und Fahren von Major R. Schoenbeck in Berlin. 3. Auflage.
Ratgeber beim Pferdekauf von Stallmeister B. Schoenbeck in Höxter. 2. Auflage.
Widersetzlichkeiten des Pferdes von Stallmeister B. Schoenbeck in Höxter.
Schubert's Landw. Rechenwesen. Bearb. von H. Kutscher in Hohenwestedt. 4. Auflage.
Landw. Plan- und Situationszeichnen von H. Kutscher in Hohenwestedt.
Feldmessen und Nivellieren von Dr. A. Wüst, Professor in Halle. 4. Auflage.
Der Landwirt als Kulturingenieur von Fr. Zajiček, Professor in Mödling.
Perels' Ratgeber bei der Wahl Landw. Geräte und Maschinen. 7. Auflage.
Be- und Entwässerung der Aecker und Wiesen von Oek.-Rat L. Vincent. 3. Auflage.
Der Petersensche Wiesenbau von Dr. E. Fuchs in Kappeln.
Bauernhof (Anlage und Einrichtung) von G. Jaspers, Generalsekretär in Osnabrück.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Die Ernährung

der

landwirtschaftlichen Kulturpflanzen.


BERKELEY
LIBRARY
UNIVERSITY OF
CALIFORNIA

Die Ernährung

der

landwirtschaftlichen

Kulturpflanzen.

Von

Dr. Adolf Mayer,

Professor an der landw. Hochschule zu Wageningen in Holland.



Zweite, neubearbeitete Auflage.

Berlin.

Verlagsbuchhandlung Paul Parey.

Verlag für Landwirtschaft, Gartenbau und Forstwesen.

SW., Hedemannstraße 10.

1898.

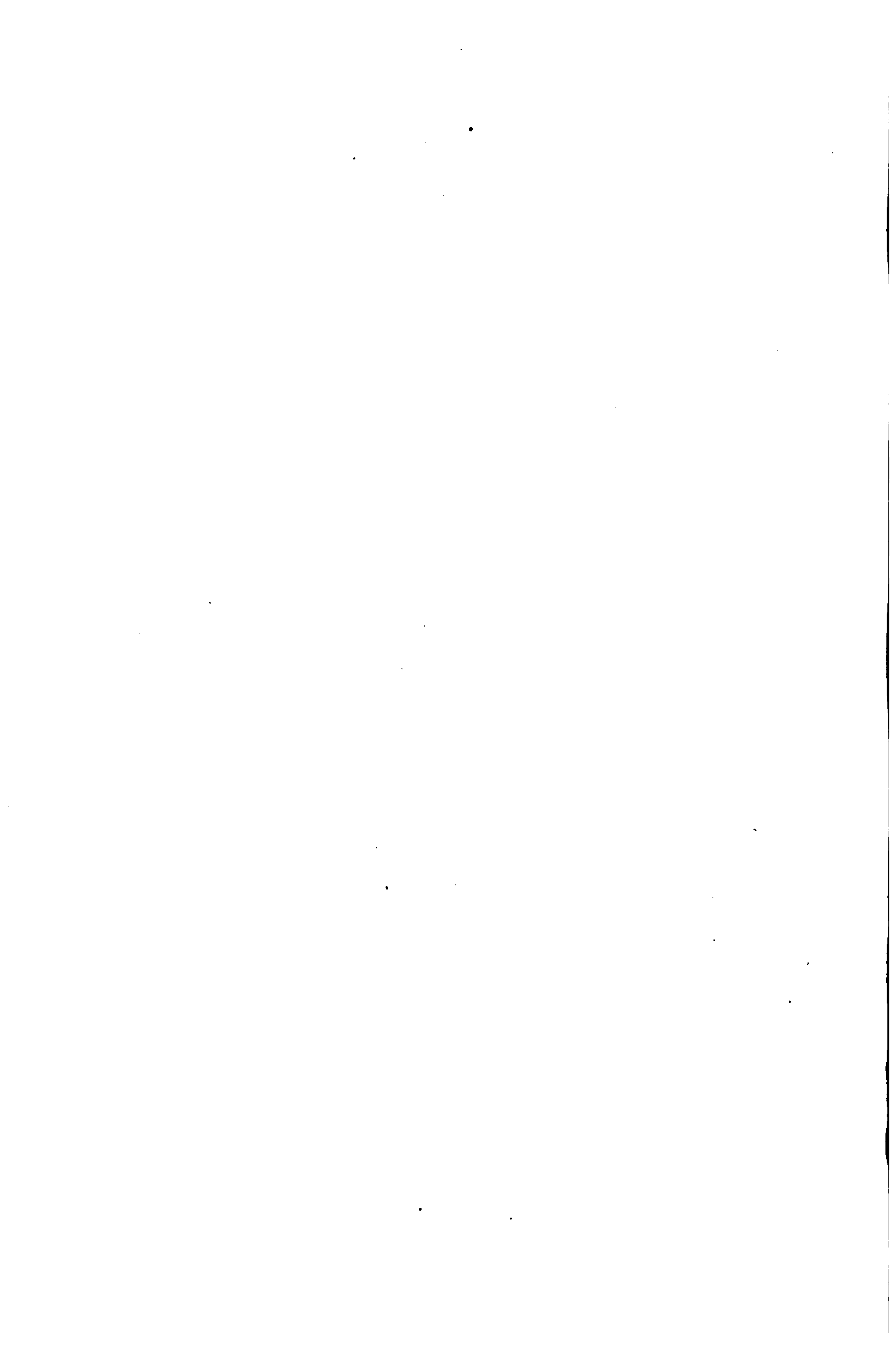
Vorwort.

Der Verfasser hat es in vorliegendem Buche versucht, die Hauptsätze der modernen Pflanzenernährungslehre auf einen kleinen Raum zusammenzudrängen und durchaus gemeinverständlich abzuhandeln. Plan und Einteilung seines größeren, vor einiger Zeit in vierter Auflage erschienenen Werkes über den gleichen Gegenstand „Lehrbuch der Agrikulturchemie, I. Teil" (Heidelberg bei C. Winter, 1895) sind dabei beibehalten worden; nur ist an die Stelle der abstrakten, den großen Leserkreis abschreckenden Sprache die bildliche Redeweise des gewöhnlichen Lebens gesetzt worden. Sogar die chemischen Formeln sind vermieden.

Möge das Buch in seiner zeitgemäß umgearbeiteten Auflage sich neue Freunde erwerben und nützlich erweisen.

Wageningen, im Herbst 1898.

Adolf Mayer.



Inhalt.

1. Abschnitt.

Die Erzeugung der verbrennlichen Stoffe in der Pflanze.

2. Abschnitt.

Umwandlungen und Ortsveränderung der verbrennlichen Stoffe in der Pflanze.

3. Abschnitt.

Die stickstoffhaltigen Bestandteile der Pflanzen.

4. Abschnitt.

Die unverbrennlichen Bestandteile der Pflanzen.

5. Abschnitt.

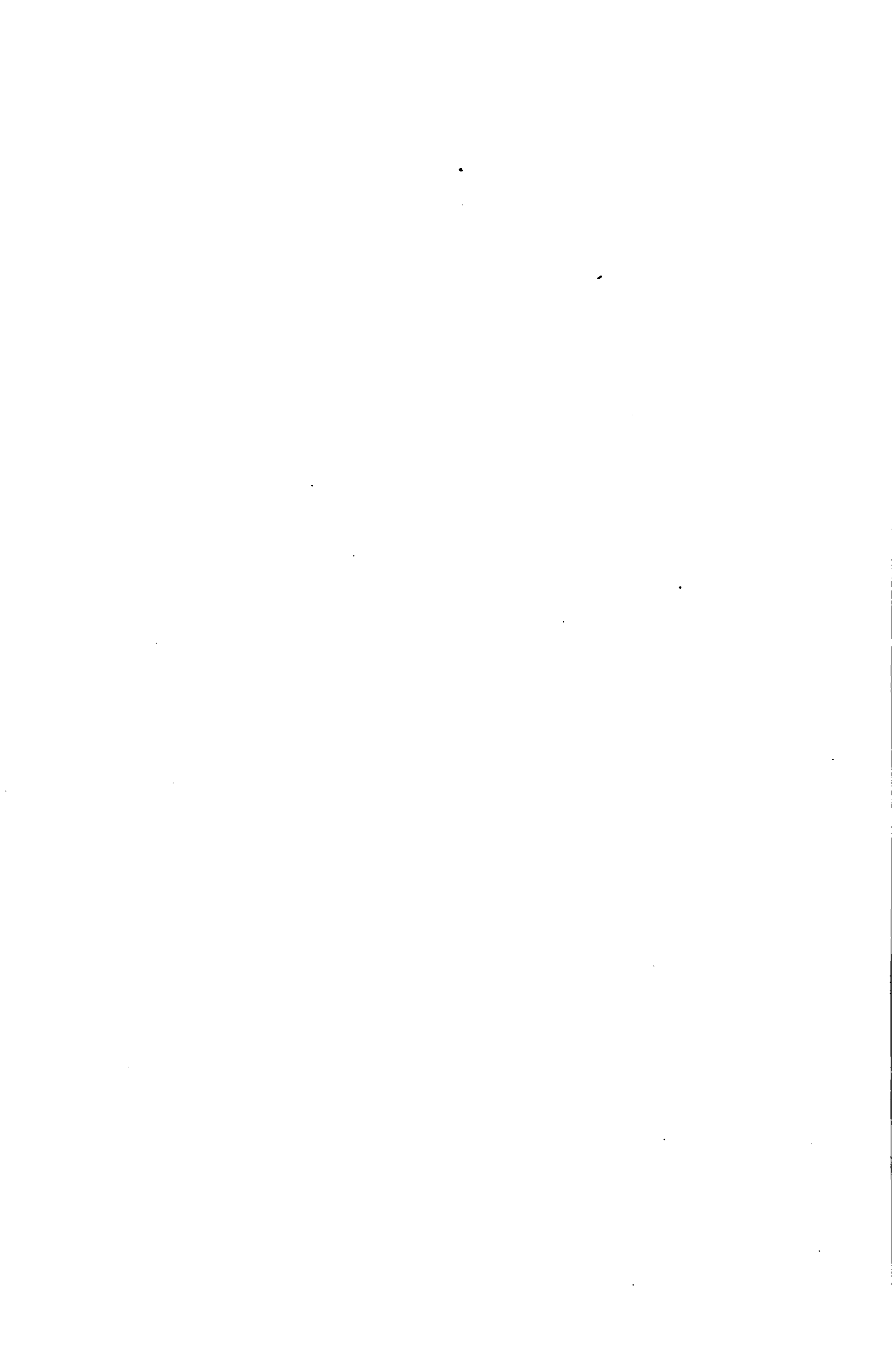
Die Stoffaufnahme und der Stoffaustausch der Pflanze.

6. Abschnitt.

Wärme und Pflanzenwachstum.

1. Abschnitt.

Die Erzeugung der verbrennlichen Stoffe in der Pflanze.



1. Wenn man einen praktischen Landwirt frägt, zu was Ende er seine Felder bebaue, so wird er wohl nicht um eine Antwort verlegen sein. Ist es doch klar genug, daß er die Produkte seines Ackerlandes nach außen hin verwerten kann oder in seinem Stalle zur Viehfütterung benutzt. Und doch ist es ohne die Hilfsmittel der Wissenschaft nicht leicht, eine allgemeine Antwort zu geben, welche die Erzeugung so verschiedenartiger Produkte, als da sind: Korn, Ölfrüchte, Wurzelfrüchte u. s. w., in sich begriffe. Man wird nun freilich fragen, welchen Vorteil es habe, für diese verschiedenen Felderzeugnisse einen gemeinschaftlichen Gesichtspunkt aufzufinden. Darauf ist zu erwiedern, daß wenn wir solche allgemeine Eigenschaften in scheinbar abweichenden Naturkörpern vorfinden, auch Aussicht vorhanden ist, daß dieselben auch weiterhin allgemeinen Gesetzmäßigkeiten unterliegen; und dann ist soviel klar, daß die Kenntnis solcher auch vermutlich mit der Zeit Anhaltspunkte für eine möglichst billige Erzeugung jener Körper an die Hand geben wird. Die Wissenschaft lehrt uns z. B., daß in gewissen Gesteinsarten, wenn man es ihnen auch nicht ansieht, Eisen oder Quecksilber vorhanden ist, und diese Einsicht ist natürlich der erste Schritt zu der praktischen Ausbeutung jener Metalle.

Die Antwort auf jene Frage nun lautet ganz bestimmt und mit unbeschränkter Einmütigkeit aller Sachverständigen: Der Landwirt erzeugt auf seinen Feldern verbrennliche Pflanzenstoffe, oder mit Fremdwörtern, in denen die Wissenschaft zu reden liebt, vegetabilische organische Substanz.

2. Wir müssen bei der Bedeutung dieser Ausdrücke einen Augenblick verweilen, um sodann die aufgestellte Behauptung auch strenge zu erweisen.

Daß er von den Feldern Pflanzenstoffe heimführe, braucht man dem Landwirte nicht als eine Neuigkeit zu erzählen. Die Verbrennlichkeit dagegen scheint demselben ein sehr unwesentliches Merkmal zu sein. Er hat wohl gesehen, daß ein Heuhaufen von selber ins Rauchen und Glimmen geriet, oder daß man zur Not mit Stroh Feuer anmachen kann. Dagegen erscheint ihm eine Rübe als ein sehr ungeeignetes Heizmaterial.

In der That versteht man unter Verbrennung in der chemischen Wissenschaft auch nicht die Fähigkeit eines Stoffes, auf einen hohen Wärmegrad gebracht, Feuer zu fangen und lichterloh zu einem Häuflein Asche zu verbrennen. Flamme und Feuer unter diesen Umständen zu zeigen, ist für den Chemiker nur eine untergeordnete Eigentümlichkeit besonders derjenigen Verbrennungsvorgänge, welche sehr rasch und energisch erfolgen; ähnlich wie eine sehr starke Reibung auch merkbar Wärme, ja die eines ungeschmierten hölzernen Rades sogar Feuer erzeugen kann. Deswegen ist die langsame Reibung doch auch eine Reibung.

Gerade so haben die Chemiker ausfindig gemacht, daß genau dieselben Vorgänge, welche bei einer flammenden Verbrennung statthaben, sehr häufig in der Natur, obschon langsamer vor sich gehen, ohne daß von dieser auffallenden sinnlichen Erscheinung etwas wahrzunehmen wäre. Der Baumstamm, welcher nicht zerkleinert und in den Ofen geworfen wird, sondern wie im Urwalde modernd am Orte seines Niederfalls liegen bleibt, auch er verschwindet langsam von der Oberfläche; und zwar löst er sich in genau dieselben luftförmigen Bestandteile auf, wie die im Ofen flammenden Scheite. Die Wissenschaft urteilt nun aber nicht nach dem bloßen Augenschein, sondern, soweit ihr dies möglich, nach dem inneren Wesen der Dinge und nachdem sie einmal festgestellt hatte, daß in beiden Fällen das Gleiche vor sich geht, nur in verschieden rascher Weise, achtete sie die Wirklichkeit höher als den Schein, und bezeichnete auch jene sogenannte Verwesung als eine Art von Verbrennungserscheinung.

So gefaßt, können Dinge verbrennen, die mit Feuer in Berührung niemals eine Flamme geben. Ja auch die Hauptvorgänge im Körper der Tiere und des Menschen erweisen sich als Verbrennungsvorgänge. Daher auch der übliche aber natür-

lich einseitige Vergleich des Tierkörpers mit einer Dampfmaschine, unter welcher Kohlen verbrannt werden. Und so gefaßt, sind die Feldprodukte wesentlich vor allem *verbrennliche* Produkte, wie sie gerade als Nahrungsmittel von Tier und Mensch jener besonderen Form von Verbrennung unterworfen sind, welche sonst unter dem Namen von Atmung bekannt ist. Dazu dienen auch einige Feldprodukte, wie namentlich die Pflanzenöle, ebenso die Erzeugnisse des Waldes, welche ja auch mit unter die von uns aufgestellten Gesichtspunkte fallen, wirklich zu jener glänzendsten Verbrennungserscheinung, die nach dem volkstümlichen Sprachgebrauch am meisten diese Bezeichnung zu verdienen scheint; und die andern brennen wenigstens alle, wenn man sie durch Austrocknung vom Wasser befreit, was freilich in den meisten Fällen eine wenig ökonomische Verwendung darstellen würde.

3. Nach dieser Auseinandersetzung wird schon eher klar sein, was wir unter verbrennlichen Pflanzenstoffen verstanden wissen wollen. Ganz klar wird dies freilich erst, wenn wir ausführen, worin denn eine Verbrennung eigentlich besteht. — Hierauf hat nun die Chemie schon vor beinahe hundert Jahren die seitdem in die breitesten Schichten des Volkes gedrungene Antwort gegeben, daß eine Verbrennung das Entstehen einer *Verbindung mit Sauerstoff* sei.

Die genannte Wissenschaft hat bekanntlich mit dem größten Erfolge alle stoffliche Veränderung, welche wir an der Körperwelt um uns wahrnehmen, auf die Verbindung und wieder erfolgende Trennung einer verhältnismäßig kleinen Anzahl von in sich durchaus unveränderlichen Stoffen, sog. Grundstoffen, zurückgeführt. Wenn das Eisen in feuchter Luft rostet, so begnügt sich der Chemiker nicht mit dieser einfachen Beobachtung und mit dem praktischen Ausdruck für dieselbe, daß das Eisen nun verdorben sei, sondern er stellt fest, daß zu dem Eisen, welches wie alle Metalle als Grundstoff aufgefaßt wird, noch ein luftförmiger Grundstoff aus dem Dunstkreis hinzugetreten ist, und daß dann beide zusammen einen dritten Stoff von ganz neuen Eigenschaften, welchen wir eben *Rost* nennen, bilden. Als stärkster Beweis dafür, daß diese Auffassung die richtige ist, muß gelten, daß die chemische Verbindung, in unserem Falle der Rost, genau so viel

wiegt, als die beiden Grundstoffe, in unserem Fall das Eisen, und der luftförmige Körper vorher zusammen wogen, und derjenige Chemiker, Lavoisier, welcher von hundert Jahren für mehrere chemische Verbindungen zum erstenmale diesen Nachweis führte, wurde naturgemäß der Begründer dieser neuen und auch für das praktische Leben so fruchtbringenden Anschauungen.

Die erste Rolle unter den Grundstoffen, aus welchen die ganze bunte Erscheinungswelt als zusammengesetzt betrachtet werden muß, spielt der Sauerstoff, so genannt nicht, weil er sauer schmeckt oder riecht, sondern weil man in den meisten Säuren ansehnliche Mengen von ihm angetroffen hat. Derselbe ist als unverbundener Grundstoff selber, nicht der Masse, aber der Wirkung nach, der hauptsächlichste Bestandteil des Dunstkreises, in welchem wir atmen. Die so ganz außerordentliche Stellung dieses luftförmigen Grundstoffes rechtfertigt es, daß man die Verbindungsvorgänge anderer Körper mit diesem unter einem besonderen Ausdrucke begreift, nämlich als Verbrennung bezeichnet. Jetzt ist es auch noch deutlicher zu fassen, warum der Chemiker auf die bloße Form dieser Verbrennungserscheinung, ob sie gleichsam festlich mit Illuminationen oder unmerklich in der Stille sich vollzieht, so wenig Wert legt. Sauerstoff verbindet sich mit den Bestandteilen eines Heuhaufens, ob ich ihn in Brand stecke, ob ich ihn an Tiere verfüttere, oder ob ich ihn langsam auf der Wiese verwesen lasse; und in allen diesen Fällen bilden sich auch die nämlichen luftförmigen Verbrennungsprodukte, welche alsdann dem Dunstkreis zuströmen.

4. Aber der Erkenntnis, worin Verbrennung im allgemeinen besteht, muß sich notwendig die Erkenntnis anreihen, worin sie in unserem Falle besteht, oder warum gerade die Bestandteile der trockenen Pflanzen ausnahmslos die Fähigkeit haben, sich mit Sauerstoff zu vereinigen. Die allerverschiedensten Grundstoffe sind zwar verbrennlich, vereinigen sich leicht mit Sauerstoff, so daß die Behauptung der Verbrennlichkeit nichts anderes voraussetzt, als daß die betreffenden Grundstoffe zur Zeit noch nicht mit Sauerstoff verbunden seien, oder wenigstens noch nicht mit der ganzen Menge von Sauerstoff, welcher bei einer vollständigen Verbrennung aufgenommen werden kann. Schlechthin unverbrenn-

liche Körper sind aus demselben Grunde eigentlich nur solche, die bereits ihren genügenden Anteil Sauerstoff in sich einschließen, oder, wie wir diese charakteristisch genug nennen, verbrannte Körper. In diesem Falle sind z. B. nicht bloß die Aschen, sondern alle unsere natürlichen Felsarten und ihre Verwitterungsprodukte, endlich auch das Wasser, Verbindungen, welche samt und sonders schon zu einem sehr großen Bruchteile aus Sauerstoff bestehen. Deshalb ist es nicht genügend, wenn ich der Wahrheit gemäß anführe, daß man in den verbrennlichen Pflanzenstoffen von wesentlichen Bestandteilen zwei Grundstoffe, den Kohlenstoff und den Wasserstoff, unter allen Umständen angetroffen hat. Dies wäre für unser Urteil über die Verbrennlichkeit nichtssagend. Ich muß notwendig hinzufügen, daß diese Grundstoffe in dem Pflanzenleibe mit einer weitaus unzureichenden Menge von Sauerstoff verbunden sind, um als völlig verbrannte Körper gelten zu können. Man kommt der Wahrheit ziemlich nahe, wenn man in dieser Beziehung angiebt, daß ungefähr nur ein Drittel des Gewichtes von Sauerstoff, welches überhaupt von den anderen Grundstoffen des trockenen Pflanzenleibes aufgenommen werden könnte, schon daselbst in Verbindung mit diesen angetroffen wird, oder auch, daß im Durchschnitt die trockenen Pflanzenstoffe noch ihr gleiches Gewicht an Sauerstoff aufnehmen können, um zu völlig verbrannten und dann natürlich unverbrennlichen Körpern zu werden.

Kohlenstoff und Wasserstoff sind aber für den Nichtchemiker bloße Namen, bei denen sich nichts denken läßt. Als sinnliche Anhaltspunkte mögen hier gelten, daß unsere gewöhnliche Holzkohle oder auch die Gascoaks im wesentlichen aus diesem Kohlenstoffe bestehn, und daß der Wasserstoff eine sehr leichte Luftart ist, die selbstverständlich verbrennlich ist. Man denke sich das gewöhnliche Leuchtgas, welches thatsächlich auch reich an Wasserstoff ist, frei von Geruch und mit einer nicht leuchtenden Flamme wie der Weingeist brennend, und man hat eine ziemlich klare Vorstellung von der Natur dieses Grundstoffs, welcher seinen Namen daher hat, daß er mit Sauerstoff verbunden oder völlig verbrannt, die allbekannte Flüssigkeit, das Wasser bildet.

Die Natur dieser Grundstoffe ist nun freilich in den Pflanzen-

stoffen, die sie zusammensetzen, nicht ohne weiteres erkenntlich. Aber das ist ja gerade das Wesen der chemischen Verbindung. Wie man im Roste nicht sofort das Eisen, wie man im Zinnober nicht sofort das Quecksilber herausmerkt, so erkennt man in dem verbrennlichen Pflanzenleibe durch die bloße Anschauung nicht den Kohlenstoff und nicht den Wasserstoff. Aber so wie man durch gewisse Vorkehrungen, unter welchen vor allem das Erhitzen eine große Rolle spielt, aus Zinnober auch regelmäßig Quecksilber darstellen kann, so kann man auch in den Pflanzenstoffen den Kohlenstoff und den Wasserstoff leicht nachweisen. Man braucht nur unter Abschluß von Luft (um Verbrennung zu verhüten) zu erhitzen, denn bekanntlich entsteht unter diesen Umständen aus jeder Pflanzensubstanz eine kohlige Masse, die auch wirklich fast ganz und gar aus bloßem Kohlenstoff besteht. Außerdem entweichen Gase, welche freilich weit davon entfernt sind, reiner Wasserstoff zu sein, die aber wenigstens außerordentlich reich an diesem Grundstoffe sind. Nichts anderes geschieht bei der Leuchtgasfabrikation oder bei der Holzkohlebereitung in den Meilern. Der feste Kohlenstoff des Holzes oder des Torfes bleibt seiner größten Masse nach zurück, während wasserstoffreiche verbrennliche Gase entweichen. Und auch die Steinkohlen können ihrem Ansehen zum Trotze diesem Prozesse noch einmal unterworfen werden, und verraten in dem Reste des ihnen nach allen geologischen Umwandlungen gebliebenen und nun entweichenden Wasserstoffs noch deutlich ihren organischen Ursprung.

Die Pflanzenstoffe stellen also eigentümliche chemische Verbindungen dar von Grundstoffen, unter welchen Kohlenstoff und Wasserstoff die Hauptrolle spielen. — Verbindungen unter sich und mit Sauerstoff, doch mit diesem in ungenügendem Verhältnisse, so daß noch ansehnliche Mengen weiteren Sauerstoffs hinzutreten müssen, wenn eine völlige Verbrennung stattfinden soll.

5. Die Frage, woraus die verbrennlichen Pflanzenstoffe bestehen, hat uns zu einem weiteren Ausholen Veranlassung gegeben. Schneller können wir nun in dem Nachweis der Thatsache sein, daß die Thätigkeit des Ackerbauers thatsächlich in der Erzeugung dieser Stoffe besteht.

Unter dieser Erzeugung von verbrennlichen Pflanzenstoffen

auf den Ackerfeldern darf natürlich nicht eine Neuschaffung irgend welcher Stoffe aus dem Nichts verstanden werden. Eine solche ist nach den tausendfach geprüften Grundsätzen der wissenschaftlichen Chemie eine Unmöglichkeit, da die Grundstoffe an sich so unerschaffbar als unzerstörbar sind, d. h. als ewig angesehen werden müssen. Diesen feststehenden Grundsätzen wird bei einer jeden Stoffverwandlung, von welcher sich der Chemiker eine Vorstellung zu bilden sucht, Rechnung getragen; denn er drückt diese Vorstellung aus in der Form einer Gleichung. Die Grundstoffe und die Mengen dieser Grundstoffe müssen stets auf den beiden Seiten einer solchen Gleichung, wodurch der Zustand vor und nach Eintritt der zu erörternden chemischen Umsetzung vorgestellt wird, die nämlichen sein. Der ganze Wechsel, dem Ausdruck verliehen wird, besteht auf dem Papier in einer Neugruppierung der Zeichen, welche bestimmte Mengen der Grundstoffe bedeuten.

Der Ausdruck: Erzeugung von verbrennlichen Pflanzenstoffen will daher nichts Größeres bedeuten als z. B. die Erzeugung von Eisen im Hochofen. Es ist selbstverständlich, daß Eisenerze gegeben sein müssen, um eine solche Produktion zu ermöglichen. Wir werden dementsprechend auch bei der Pflanzenproduktion uns nach dem entsprechenden Rohmateriale umzusehen haben. Das Nächstliegende ist aber, daß wir in diesem Sinne den versprochenen Nachweis führen. Nun derselbe kann schon bei dem gewöhnlichen landwirtschaftlichen Betriebe der aufmerksamen Beobachtung nicht entgehen. Oder wo ist der Ackerwirt, der sich einer so kräftigen Düngerversorgung seiner Ländereien rühmt, daß er im Verlaufe eines drei- oder sechsjährigen Umlaufs auf eine bestimmte Ackerfläche so viel Stallmist hinausführte, als die gesamte Erntemasse, welche er innerhalb des gleichen Zeitraums hereinbringt, beträgt. Höchstens bei der kleinen gartenmäßigen Kultur, z. B. beim Gemüsebau auf Mistbeeten, wo der Dünger noch mehr zur Erwärmung dient als zur Ernährung, niemals aber für den Ackerbau im großen und ganzen kann von etwas dergleichen die Rede sein. Die Gesetze aber, die wir suchen, müssen Geltung haben für den allgemeinen Zustand der Landwirtschaft.

Dazu ist auch der Ackerboden in der Regel ziemlich arm an

kohlenstoffhaltigen verbrennlichen Bestandteilen, sogen. „Humus“, und wird durch die Kultur eher an diesen bereichert, so daß also die Erntemasse zu einem sehr ansehnlichen Teile weder aus der Düngung noch aus dem Boden entstammen kann, vielmehr in dieser Form neu von den Pflanzen hervorgebracht sein muß.

Wer aber diese Erwägung noch nicht für schlagend genug erachtet, der erinnere sich an die doch wahrlich genugsam erhärteten Thatsachen, daß man technisch mit demselben Erfolge, wenn auch nicht immer gleich vorteilhaft für die Kasse, wirtschaften kann, bloß mit Schlammdüngung oder mit wenigen Pfunden Mineraldüngung, ja auf sehr fruchtbaren Ländereien, z. B. frisch eingedeichten Seepoldern selbst Jahrhunderte lang ohne alle Düngung, ferner daß in der Forstwirtschaft, die ja nach den von uns gehandhabten Gesichtspunkten sich nur darstellt als ein besonderer Zweig der Pflanzenproduktion, regelmäßig ohne jede Gegenleistung verbrennliche Pflanzensubstanz in der Gestalt von Holz von der angebauten Grundfläche, die vordem ganz humusfrei gewesen sein kann, weggeführt wird. — Und dem Zweifelsüchtigen, dem alles dies noch nicht genügen sollte, dem Pedanten der experimentellen Methode, welcher der Bilanz der großen Zahlen nicht traut und alles auch auf der chemischen Wage nachgewogen haben will, diesen stehen die sauber ausgeführten Versuche der Pflanzenphysiologen zu Gebote, durch welche die allgemeine Befähigung der höheren Pflanzen, die verbrennliche Masse ihres eigenen Leibes sich selber zu schaffen, bis zum Überdruß wieder und wieder festgestellt worden ist. Diese Naturkundigen setzen einen Samen von bestimmtem Trockengewicht in ausgeglühten Sand, der zwar von einer wässerigen Lösung befeuchtet sein muß, aber frei ist von allen verbrennlichen oder kohlenstoffhaltigen Stoffen; oder eine solche Lösung dient selber als ein geeigneter Kulturboden für den Keimling, und die so erzogenen Pflanzen erzeugen wie ihre Schwestern im freien Felde das Hundertfache an verbrennlicher Masse, als ihnen mit auf den Weg gegeben war. Es stände wohl um die Wissenschaft der Pflanzenernährungslehre, wenn ein jeder in ihr Geltung habende Satz auf gleich sicherem Grunde ruhte.

6. Wir wollten weiter nach dem Rohmateriale für den Vorgang der Erzeugung der verbrennlichen Pflanzenstoffe fragen.

Hierfür ist die Beantwortung bereits teilweise in dem Vorhergehenden enthalten. Die wesentlich kohlenstoff- und wasserstoffhaltige Masse wird nur in Bezug auf ihre Verbindungsweise oder, wie man dies auch ausdrückt, in Bezug auf ihre „chemische Form“ neu gebildet; die einzelnen unzerstörbaren Grundstoffe an und für sich müssen vorher schon in der Umgebung der wachsenden Pflanze vorhanden gewesen sein.

Und auch in Bezug auf die chemische Form dieses vorhergehenden Zustandes können wir etwas Bestimmtes aussagen, da wir nachgewiesen haben, daß verbrennliche Stoffe wenigstens im allgemeinen nicht in genügender Menge zu Gebote stehen. Die Grundstoffe, Kohlenstoff und Wasserstoff, müssen im unverbrennlichen, d. h. im völlig verbrannten oder mit Sauerstoff gesättigten Zustande vorhanden gewesen sein. Diejenigen chemischen Verbindungen, welche dieser Voraussetzung entsprechen, nennen wir **Kohlensäure** und **Wasser**, die erstere eine bekannte Luftart, welche aus den gegorenen Getränken massenhaft entweicht, das letztere eine noch bekanntere Flüssigkeit, welche nicht sowohl wegen ihrer Verbreitung auf unserer Erde, als vielmehr wegen der allvermittelnden Rolle, welche sie namentlich bei der Ernährung sämtlicher Lebewesen spielt, einen Weisen des Altertums in den Ruf ausbrechen ließ „Das Vornehmste (aller Dinge) ist das Wasser.“

7. Diese beiden hochwichtigen Körper sind unserer Darlegung zur Folge nicht bloß das Rohmaterial für die Erzeugung der verbrennlichen Pflanzenstoffe, sondern umgekehrt auch natürlich das Endprodukt des entgegengesetzten Vorgangs, der völligen Verbrennung dieser Stoffe oder ähnlich zusammengesetzter Massen. In der That entweichen aus dem Kamin eines Ofens, in welchem wir Holz oder Steinkohlen verbrennen, Kohlensäure und Wasserdampf. Dasselbe geschieht, wenn wir dieses Holz im Walde langsam verwesen lassen. Kohlensäure und Wasserdampf entweichen aus der Lunge des Tieres, welches wir mit kohlenstoff- und wasserstoffhaltigen Stoffen ernähren, und welches diese Stoffe in gelöster Form in seine Blutbahn aufgenommen hatte. Und wiederum Kohlensäure und Wasser werden vom Chemiker gewogen als Maßstab für den Kohlenstoff- und Wasserstoffgehalt organischer

Substanzen, nachdem er sie einer künstlichen Verbrennung unterzogen hat.

8. Wenn wir auf diese Weise schon aus bisher Mitgeteiltem folgern konnten, daß Kohlensäure und Wasser in der Umgebung der wachsenden Pflanze im Urwalde oder auf dem Ackerfelde sich vorfinden müssen, so ist auch der direkte Nachweis der Abwesenheit dieses Rohmaterials pflanzlicher Produktion daselbst leicht zu erbringen. In Bezug auf das Wasser erinnert sich jeder, daß nur auf feuchter Bodenfläche Pflanzen gedeihen, und wenn das Wasser auch noch aus hundert anderen Gründen für jedes lebende Wesen unentbehrlich ist, so ist doch hiermit auch ein Grund dieser Unentbehrlichkeit nachgewiesen.

Die Kohlensäure, welche außer als Rohmaterial für die Erzeugung der verbrennlichen Pflanzenstoffe keine anderweitigen Leistungen mehr in erheblichem Maßstabe für die Ernährung der Pflanzen zu vollbringen hat, findet sich nur in geringeren Mengen aber ausnahmslos überall in unserem Dunstkreise vor. Sie macht in einem ganz kleinen Prozentsatze einen regelmäßigen Bestandteil der gewöhnlichen Luft aus; aber diese kleine Menge, weil sie, wenn weggenommen, aus den nächstliegenden Luftschichten immer wieder rasch ergänzt werden kann, genügt zu üppigsten Pflanzenproduktionen, so daß die Kohlensäure des Bodens, welche durch die Verwesung von Tier- und Pflanzenresten fortdauernd Entstehung nimmt, von diesem Gesichtspunkte aus recht gut entbehrt werden könnte.

Entfernen wir die Kohlensäure völlig aus der Umgebung einer wachsenden Pflanze, so nimmt sie wohl noch eine Zeit lang (durch bloße Wasseraufnahme) äußerlich an Masse, nicht aber mehr an verbrennlicher Trockensubstanz zu, wie leicht durch den Versuch erwiesen werden kann.

9. Aber noch eine andere Folgerung von höchster Wichtigkeit dürfen wir aus dem bisher schon Erkannten nun ohne weiteres ziehen, und die Erfahrung kann nur dazu dienen, sie zu bestätigen. Wenn die verbrennlichen Stoffe sich von den verbrannten Stoffen nur dadurch unterscheiden, daß die in ihnen enthaltenen Grundstoffe weniger mit Sauerstoff gesättigt sind, so muß die Erzeugung der ersteren aus den letzteren in einer Abtrennung eines Teils

ihres Sauerstoffgehaltes bestehen. Sauerstoff muß als solcher ausgeschieden werden.

In der That hat man dieses nachgewiesen, und zwar schon zu einer Zeit, ehe man von dem Vorgang der Entstehung der verbrennlichen Pflanzenmasse eine klare Vorstellung hatte, da der Versuch ungewöhnlich wenig Schwierigkeiten darbietet. Man braucht nur die abgeschnittenen frischen Blätter einer beliebigen Pflanze unter Bedingungen, auf die wir nachher werden geführt werden, in kohlensäurehaltiges Wasser unterzutauchen, und man sieht von ihrer Fläche bald sich Blasen um Blasen entwickeln, die man nur aufzufangen und chemisch zu prüfen braucht, um sie als außerordentlich sauerstoffreiche Luft zu erweisen.

10. Wir erkennen so, wie der von uns beleuchtete Vorgang in jeder Beziehung das Entgegengesetzte des Verbrennungsprozesses organischer Körper darstellt. In dem ersteren Falle wird Kohlensäure und Wasser in gewissen Verhältnissen zusammengethan, etwa zwei Dritteile des Sauerstoffs von beiden ausgeschieden; verbrennliche Stoffe, wie sie nicht bloß die Pflanzen, sondern mit geringfügigen Änderungen auch die Leiber der übrigen organisierten Wesen zusammensetzen, sind das Resultat. Und verbrennt man diese so erzeugten Stoffe auf irgend eine der vorhin beschriebenen Weisen, so tritt der damals ausgeschiedene Sauerstoff eben aus dem unerschöpflichen Vorrat der uns umgebenden Luft wieder hinzu; die organischen Stoffe zerfallen in die Endprodukte, Kohlensäure und Wasser, die dann wieder die Ausgangspunkte alles organischen Lebens sind. Das ganze Leben des Tieres erscheint von diesem Standpunkte aus nur als ein besonderer Fall der allgemeinen Verbrennungserscheinungen, Stoffaustausch von Tier- und Pflanzenwelt stellen sich als einander entgegengesetzt dar.

11. Man versteht so, wie das fromme Gemüt des Menschen, welches auf Schritt und Tritt in der Ordnung der Natur die Hand des Allmächtigen spürt, zu dem kindlichen Gedanken kommen konnte, als ob die schöne Pflanzenwelt auf unseren Planeten nur gesetzt worden sei, um unsere Luft, welche natürlich durch Athmung von Tier und Menschen und ebenso durch die unorganischen Verbrennungs- und Verwesungsvorgänge an Sauerstoff verarmen

und an Kohlensäure bereichert werden würde, durch den entgegengesetzten Gasaustausch auf dem jetzigen, für alle Lebewesen zweckmäßigen Zustande zu erhalten. Diese naive Vorstellung schließt allerdings die Wahrheit in sich ein, daß das Tierreich, also auch das Dasein des Menschen, das Vorhandensein der Pflanzen voraussetzt. Diese Abhängigkeit findet aber nicht sowohl statt wegen der Reinerhaltung der Luft in unserem Sinne, sondern in erster Linie, weil die erzeugten Pflanzenstoffe unmittelbar oder mittelbar den Tieren, welche ja alle entweder Pflanzenfresser sind, oder sich von Pflanzenfressern ernähren, als Nahrung dienen, weil die Tiere mit anderen Worten nicht selber jenen Vorgang der Erzeugung von organischen Substanzen zu vollziehen vermögen. — Ob die Zusammensetzung dagegen unserer Lufthülle, dank der entgegengesetzten Arbeitsrichtung der beiden organischen Reiche, gegenwärtig genau dieselbe bleibt, läßt sich erfahrungsmäßig wegen der kurzen Dauer unserer genaueren Beobachtungen noch nicht feststellen. Im Laufe der großen Erdbildungsperiode hat dieselbe jedenfalls schon geschwankt, wie sich ja durch längere Zeiträume hindurch das Pflanzenreich ganz ohne Tiere hat entwickeln können. Überhaupt müssen wir uns hüten, solche Gesichtspunkte der Zweckmäßigkeit in die Forschung mit einzuführen. Diese hat nüchtern und selbständig vorzugehen; ergiebt sich dann eine ungeahnte Abhängigkeit — gut. Dann mag sie der eine Zweck, der andere Nutzen nennen, sie wird sich nicht mehr herausnehmen, als leitender Gedanke der Naturwissenschaft gelten zu wollen. Im anderen Falle kommen wir schließlich auf den Standpunkt eines im übrigen verdienten landwirtschaftlichen Schriftstellers, der die Weisheit des Schöpfers preisen lehrte, weil er Sauerstoff und Stickstoff in unverbundenem Zustande im Dunstkreise zusammengemischt habe; denn eine Verbindung von beiden Grundstoffen wäre unfähig die tierische Atmung zu unterhalten.

Wer sich in der Natur wundern will über das Zweckmäßige, muß sich bei jedem Schritt wundern. Wir aber begnügen uns mit dem praktischen Satze, den schon die Philosophen des Altertums anwandten, und der auch einen der Kernpunkte der Darwinschen Lehre bildet: wenn nicht alles in der Natur zweckmäßig

wäre, so wäre sie eben nicht da, und selbstverständlich auch niemand da, der das Unzweckmäßige natürlich finden könnte.

12. Die Hauptthätigkeit der Pflanzenwelt, wovon beim Ackerbau Nutzen gezogen wird, haben wir jetzt kennen gelernt; noch aber wissen wir nicht, wie und wo. Wird die verbrennliche Masse überall da vermehrt, wo Kohlensäure und Wasser mit einer lebenden Pflanzenzelle zusammentreffen? -- Auch in Bezug auf diese Frage hat die Wissenschaft bereits seit lange eine endgiltige Antwort erteilt.

Nicht bloß muß noch eine ganze Reihe von äußeren Bedingungen erfüllt sein, damit dieser Vorgang stattfindet, sondern es sind auch nur gewisse Pflanzen zu gewissen Zeiten und von diesen Pflanzen auch nur bestimmte Teile zum Vollzug desselben befähigt. Drücken wir uns zunächst in Bezug auf diesen letzteren Gegenstand etwas bestimmter aus. Die Naturforscher haben durch sorgfältige Vergleichung gefunden, daß nur die grünen Pflanzenteile, oder noch genauer, nur Pflanzenzellen mit grünem Zellinhalte fähig sind, die verbrennliche Masse zu vermehren.

Am zweckmäßigsten dienen hierzu Beobachtungen über die Sauerstoffausscheidung, welche leicht an der Bläschenentwickelung in Wasser erkannt werden kann, während man zur Bestimmung der organischen Trockenmasse selber die zu prüfende Pflanze nach jedem Versuche abtöten muß. Durch solche leicht in großer Menge auszuführenden Versuche hat man schon verhältnismäßig frühe festgestellt, daß z. B. Wurzeln, ältere Zweige unproduktiv sind, daß ebenso Pflanzen, welche ihr ganzes Leben hindurch keine grüne Färbung erhalten, also die Schwämme oder auch die gefürchteten Schmarotzergewächse, welche unseren Kleefeldern so verderblich werden, und die wir Kleeseide nennen, und endlich auch junge Keimpflanzen, die noch nicht grün geworden sind, sich in gleicher Weise verhalten, während in erster Linie die grünen Blätter, dann auch grüne Stengel und andere so gefärbte Pflanzenteile fortdauernd Sauerstoff abscheiden und die Pflanze an verbrennlicher Masse bereichern.

Zwar der Augenschein kann trügen. Manchmal ist die grüne Farbe nur verhüllt oder durch andere Farbstoffe verdeckt, so daß wir nicht zu rasch eine Pflanze als unproduktiv oder schmarotzend

verschreien dürfen. Das bleiche Edelweiß der Alpen verbirgt unter seiner dichten weißen Behaarung saftige Teile von vollkommener Grüne. In den Blättern der Blutbuchen kann man die gleiche Farbe erkennen, wenn man sie gegen das Licht hält; sie sind nur durch den roten Zellsaft teilweise verdeckt. In anderen Fällen sind die umständlichen Hilfsmittel der Wissenschaft, Vergrößerungsgläser, lichtzerlegende Apparate, vorausgehende chemische Behandlung dazu notwendig, um den gleichen Nachweis zu führen. In allen Fällen konnte derselbe aber entgiltig erbracht werden, so daß das ausgesprochene Gesetz keine Einschränkung erleidet.

Auch die scheinbaren Ausnahmen sind verschwindend gegenüber den Übereinstimmungen, so daß man aus dem ganz auffälligen Überwiegen der grünen Farbe in der Pflanzenwelt ohne weiteres einen Schluß machen darf auf die Allgemeinheit der Produktivität und auf die Zeiten, in denen von den Pflanzen produktiv gearbeitet wird.

13. Aus der mitgeteilten Gesetzmäßigkeit folgt natürlich zugleich für die nichtgrünen Pflanzen, daß sie auf Kosten von anderwärts hervorgebrachten verbrennlichen Stoffen ihr Dasein fristen müssen, da sie selber die Baustoffe ihres eigenen Leibes nicht hervorzubringen im stande sind, daß sie also in derselben Abhängigkeit von der grünen Pflanzenwelt leben wie die Tiere. Mit anderen Worten, die nichtgrünen Pflanzen sind Schmarotzer im weitesten Sinne des Wortes; sie leben entweder auf ihren grünen Geschwistern, diesen ihre Säfte aussaugend, oder sie setzen zu ihrem Gedeihen einen Nährboden voraus, welcher reich ist an (von grünen Pflanzen erzeugten) verbrennlichen Stoffen. Im ersteren Falle befindet sich die ebenerwähnte Kleeseide, der Hanfwürger und auch eine große Anzahl von mit bloßem Auge nicht wahrnehmbaren Pilzen, welche das Befallen von wilden und Kulturgewächsen veranlassen, und dann als Rost, Brand, Mutterkorn der Schrecken des Landwirts sind.

Wir verstehen von dem eben geltend gemachten Gesichtspunkte aus, warum diese Form des Auftretens von nichtgrünen Pflanzen allemal schädlich sein muß; denn sie leben bei aller übrigen Formverschiedenheit sämtlich auf Kosten ihres Wirts —

genau wie der Wurm im Apfel. Wir können es also nur selbstverständlich finden, wenn wir hören, daß auf solche Weise die meisten gefürchteten Pflanzenkrankheiten bis herauf zur Kartoffel- und Traubenkrankheit zu stande kommen.

14. Auch noch in einer anderen sehr praktischen Beziehung können wir aus der kleinen Summe des bis jetzt Klargelegten eine unabweisbare Folgerung ziehen. Wenn die stark grünen Blätter hauptsächlich produktiv sind, wenn die nur schwach grünen Früchte unserer Bäume in dieser Richtung kaum in Betracht kommen, und wenn das bleiche Holz und die Wurzelteile ganz auf Kosten von jenen leben, so muß das Wegnehmen der Blätter für eine Pflanze ungefähr so viel bedeuten, als wenn man eine Familie ihres Ernährers beraubt. Daher ist das Abblatten den Rüben natürlich schädlich, wenn es zu einer Zeit geschieht, wo wir noch Zuwachs der Wurzel erwarten; und daß man den Schaden dieser namentlich in Frankreich weit verbreiteten Methode immer und immer wieder durch besondere Versuche zu erhärten für nötig erachtete, ist ein Armutszeugnis in Bezug auf die Anwendung der in dieser Beziehung längst spruchfähigen Wissenschaft. Nur für Früchte, die nicht mehr erheblich wachsen, sondern nur in sich noch etwas ausreifen sollen, ist ein solcher Eingriff in das Leben der Pflanzen zulässig.

Ebenso muß natürlich ein gewisses Verhältnis bestehen zwischen produzierenden und den von diesen unterhaltenen Pflanzenteilen. Wer durch geiziges Schneiden der Reben auf eine gewisse Anzahl Blätter zu viele Blüten (Scheine) stehen läßt, wer seinen gut durch die Blüte gekommenen Aprikosenbaum nicht zeitig von einer Überzahl junger Früchte befreit, der versetzt die Pflanzen in die Lage eines bedrängten Familienvaters, dem der Kindersegen zu reichlich geflossen ist, und die Folge davon ist unabweislich: kärgliche Ernährung, und das bedeutet für die Früchte: unvollkommene Reife mit allen ihren nachteiligen Folgen.

15. Wäre das Vorhandensein eines grünen Zellinhalts als eine innere Bedingung für die Produktionsfähigkeit zu bezeichnen, so hätten wir im Gegensatz hierzu auch die äußeren Bedingungen der gleichen Thätigkeit aufzusuchen. Anwesenheit von Kohlensäure und Wasser sind nach dem Bisherigen selbst-

verständlich; aber dies sind nicht die einzigen äußeren Voraussetzungen.

Ein gewisser Wärmegrad ist wie zu allen Lebensvorgängen, so auch für die Sauerstoffabscheidung aus grünen Pflanzenteilen notwendig. Die obern und untern Grenzen sind zwar gerade im vorliegenden Falle noch nicht genau festgestellt, aber man kann doch angeben, daß der Vorgang ungefähr bei dem Gefrierpunkte des Wassers bis etwa zu 50° C. (40° Reaumur) also nahe bis zur Tötungstemperatur der pflanzlichen Organe möglich ist. Auch scheinen für die einzelnen Pflanzen bezüglich dieser Grenzen kleine Unterschiede zu bestehen.

16. Auf eine andere notwendige Bedingung, deren Mitwirkung die merkwürdigsten und weitgehendsten Folgen für den Pflanzenbau hat, werden wir schon durch eine einfache Betrachtung hingeführt, welche auch ohne die strengeren Hilfsmittel der Wissenschaft anzustellen möglich ist. Die vereinigten Naturwissenschaften, welche uns im vorigen Jahrhundert mit dem Gesetze der Unzerstörbarkeit des Stoffes bereicherten, haben in diesem Jahrhunderte das sehr viel allgemeinere und noch bedeutungsvollere Gesetz von der Unzerstörbarkeit der Kraft zu Tage gefördert. Dasselbe sagt, ganz ein Gegenstück zu jenem andern, aus, daß auch Kräfte, wo sie für unsere Auffassung verschwinden oder entstehen, dies nur scheinbar thun, daß sie in Wahrheit nur die Maske wechseln, und deshalb in dieser ihrer Verkappung nicht sofort zu erkennen sind. Gelingt es, ihnen die unkenntlichen Hüllen abzureißen, so können sie überall als unverändert in ihrer Menge und Wirkungsfähigkeit nachgewiesen werden. Man begreift, daß trotz der Einfachheit des Resultats, es kein Kleines war, diese Beweisführung bis ins einzelne für die mannigfaltigen Kraftformen durchzuführen.

17. Welches sind nun die verschiedenen Formen von Kraft, die bei diesem bunten Wechselspiele durchlaufen werden können? — Jedermann weiß, daß ein bewegter Körper eine Kraft vorstellt, und daß die Kraft um so größer ist, je massiger der Körper und (und zwar dies in noch höherem Maße) je größer seine Geschwindigkeit ist. Kräfte werden also überall da stecken müssen, wo z. B. Bewegung vernichtet oder wo neue Bewegung ins Leben

gerufen worden ist; denn diese Zerstörung und Neuerzeugung ist ja nur eine scheinbare, nur ein Formenwechsel. Nun kann ich bekanntlich mittelst eines heißen Dampfkessels Bewegung hervorrufen; ja die ausgiebigsten Bewegungen werden in unserer Zeit auf diese Weise mit Hilfe von sinnreichen Maschinen hervorgerufen. Umgekehrt entsteht bei einer plötzlichen Vernichtung von starker Bewegung durch ein Hemmnis allemal Wärme, die sog. Reibungswärme, welche ebenso eines Jeden Beobachtung, der nur einmal einen Knopf an einer Tischplatte gerieben, oder an einer Drehbank gearbeitet hat, zugänglich ist.

Ich brauche nur noch hinzuzufügen, daß man durch z. T. sehr schwierige Untersuchnngen nachgewiesen hat, daß z. B. dieselbe Menge Wärme, welche verbraucht wird, um einen Eisenbahnwagen von 10000 kg in eine Bewegung von 10 m in der Sekunde zu versetzen, wieder durch das plötzliche Aufhalten dieses Wagens (mittelst einer Bremse) an Rad und Schiene zum Vorschein kommt, so daß schließlich wieder die gleiche Wärmemenge vorhanden ist wie vorher. Wie ein solcher Versuch durchgeführt wird, wie man Wärme mißt nicht bloß nach Graden, sondern nach wirklich vergleichbaren Mengen u. s. w., dies zu beschreiben, ist Sache einer eigenen Wissensctaft und gehört nicht hierher. Wir begnügen uns hier mit der Erkenntnis, daß Wärme aufgefaßt werden muß als eine Form von Kraft, und nicht mehr als ein unwägbarer Stoff, wie die Physik der ersten Hälfte des Jahrhunderts wollte. Ja wir stellen uns heute die Wärme als nichts anderes vor, denn als einen Zustand der Bewegung der sehr kleinen Teile, aus welchen wir uns einen jeden Körper zusammengesetzt denken.

Andere Formen der Kraft sind elektrische und magnetische Bewegung; denn ich kann z. B. durch Erwärmung elektrische Ströme (in der sog. thermoelektrischen Säule), durch diese wieder Bewegung nach außen hin erzeugen — Formen, mit denen wir uns hier nicht befassen wollen; andere das Licht. Diese ist freilich nur eine besondere Form der Wärme, in einem Sinne, von dem nachher noch die Rede sein soll.

18. Aber um die Wechselbeziehungen der Kräfte unter sich vollzählich zu machen, müssen wir nicht bloß reden von den Kräften der Bewegung, sondern auch von den Kräften der Ruhe,

den Kräften, die in Wirklichkeit nicht arbeiten, in denen aber die Möglichkeit der Arbeit vorhanden ist. Mit Fremdwörtern bezeichnet die Wissenschaft diese letzteren Formen als potentielle Energie im Gegensatz zu jenen, die als aktuelle Energie bezeichnet werden.

Es ist nicht gar schwierig, auch ohne in die Geheimnisse der Bewegungslehre eingeweiht zu sein, von diesen Beziehungen sich annähernd scharfe Vorstellungen zu verschaffen. Jedermann weiß, daß bei einer gewöhnlichen schwarzwälder Wanduhr die treibende Kraft ein langsam sinkender Gewichtsstein ist. Wird der Stein nicht von Zeit zu Zeit durch das Aufziehen gehoben, so zeigt ihr ganzes Räder- und Zeigerwerk keine Bewegung. — Die Uhr steht, wie wir uns ausdrücken. Das oben aufgehängte Gewicht kann nun aber beliebig lange in Ruhe bleiben (wenn ich den Perpendikel anzustoßen unterlasse) ohne eine Wirkung zu äußern. Immer bleibt aber die Möglichkeit für eine solche Wirkung. Eine Kraft ist also vorhanden, aber keine bewegte Kraft, sondern eine ruhende, oder mit einem Ausdruck des gewöhnlichen Lebens, eine Spannkraft. Das gehobene Gewicht befindet sich ja genau in derselben Lage wie eine gespannte Feder oder wie die zusammengepreßte Luft einer Windbüchse. Ein unmerklicher Anstoß, ein Zufall, ein Nichts kann kommen, die Spannung auslösen und die Veranlassung werden zu einer unverhältnismäßig großen Wirkung, für welche die Gegenleistung natürlich wo anders gesucht werden muß.

Ein an einer Schnur hängender Gewichtsstein ist also ein Vorrat an Kraft. Schneide ich nun aber die Schnur ab, an welcher der Gewichtsstein hängt, so fällt er herab. Die Spannkraft verwandelt sich in bewegte Kraft, und diese letztere giebt Veranlassung zu weiteren Wirkungen beim Niederfallen, Verletzung des Fußbodens, eine sehr kleine, kaum meßbare Wärmeerzeugung.

Ebenso kann bewegte Kraft in Spannkraft übergehen, wenn ich einen Stein auf das Dach werfe, und derselbe oben liegen bleibt. Derselbe kann lange Zeit später wieder niederfallen und jemand mit derselben Kraft ein Loch in den Kopf werfen, als wenn er unmittelbar meiner Hand entflogen wäre. Man sieht auf diese Weise, wie namentlich als Spannkraft die Kräfte unserer Erde lange in derselben Form aufbewahrt werden können.

Neben dieser mechanischen Spannkraft unterscheiden wir dann in Anwendung der gleichen Grundsätze: elektrische Spannkraft, magnetische Spannkraft, chemische Spannkraft. Die erstere z. B. ist vorgestellt durch den Zustand zweier Gewitterwolken, welche, verschiedene Mengen oder Arten Elektrizität enthaltend, einander gegenüberstehen. Erst wenn der Blitz überschlägt, geht die bloß mögliche Kraftäußerung in die bewegte Form über.

Eine Hand voll Schießpulver stellt endlich einen Vorrat dar von chemischer Spannkraft; dasselbe spielt in der Feuerwaffe genau dieselbe Rolle, wie die durch Pumpen gespannte Luft in einer Windbüchse. Der kleinste Funke, selbst zu keiner meßbaren Leistung befähigt, bringt dort, ein leiser Druck hier die starke Wirkung hervor, weil eben in beiden Fällen große Mengen von Spannkräften aufgespeichert waren.

19. Diese scheinbar weit abliegenden Dinge stehen doch im allernächsten Zusammenhange mit unserm Gegenstande. Wir haben früher in dem Verbrennungsprozeß von Pflanzenstoffen den völligen Gegensatz zu unserm Vorgang der Erzeugung dieser Stoffe in den grünen Pflanzenteilen erkannt. Werden dabei die Grundstoffe in umgekehrter Weise auseinandergerissen, und zusammen verbunden, so muß auch ein Gleiches für die Kräfte gelten. Nun sind rasch verlaufende Verbrennungsprozesse bekanntlich reichlich fließende Quellen von Wärme und von Licht. Durch die etwas langsamer sich abwickelnden Verbrennungsvorgänge der tierischen Atmung wird wenigstens die tierische Wärme erzeugt, gelegentlich auch wie bei den Leuchtkäfern zu einer kleinen Lichtentwickelung Veranlassung gegeben. Und auch der im Walde modernde Stamm giebt schließlich die gleiche Wärmesumme nach außen ab, obgleich dieselbe wegen der Länge der Zeit, auf welche sie sich verteilt, nicht in die Sinne fällt.

Also Verbrennungsvorgänge sind Quellen von Kraft — eine Erscheinung, die wir uns so erklären, daß der Sauerstoff, welcher bei der Verbrennung zum verbrennenden Körper hinzutritt, eine außerordentliche Anziehungskraft zu diesem habe, ähnlich wie ein gehobener Stein zur Erde. Diese Anziehungskraft ist eben die chemische Spannkraft. — Verbrennt der Körper, so stürzt gleichsam der Sauerstoff zu ihm, wie der Stein zur Erde, und in

beiden Fällen geht die Spannkraft in die bewegte Form über, nur bei der Verbrennung in die Bewegung der kleinsten Teilchen, die wir eben Wärme nennen. Unzweifelhaft erscheint diese Klarlegung beherzigenswert; doch ist die Thatsache, daß bei der Verbrennung Kräfte nach außen frei werden, unabhängig von dieser Erklärung. Und aus dieser Thatsache allein folgt schon nach dem Gesetze der Erhaltung der Kraft, daß bei der Erzeugung von verbrennlichem Holz oder Öl aus verbranntem Wasser und Kohlensäure Kräfte müssen gebunden werden, d. h. daß dabei notwendig äußere Kräfte mitwirken müssen.

20. Nun haben wir einen gewissen Wärmegrad als für jenen Vorgang in den grünen Pflanzenteilen unentbehrlich erkannt, und die Wärme ist ja eine Kraftform; wozu weiter nach einer wirksamen Kraft suchen? — Allein hier ist es Zeit, nicht weiter mit der Mitteilung hinter dem Berge zu halten, daß zwar eine jede Kraft, wenn sie eine andere Form annimmt, den gleichen Wert behält, aber daß doch diese Formwandlungen nicht in einer jeden beliebigen Richtung gleich häufig erfolgen — ungefähr wie alle Menschen vor dem Gesetz gleich sind, aber doch nicht gleich oft vor die Gerichte zitiert werden. Die Betonung dieser Seite des Gesetzes der Erhaltung der Kraft hat zu den weitgehendsten Folgerungen bis hinaus auf Weltentstehung und -Untergang geführt, und ist auch für unsere Aufgabe von Wichtigkeit.

Beispielsweise hat man gefunden, daß Bewegung sehr leicht und an allen Orten in Wärme übergehen kann; wir brauchen nur die Bewegung durch Reibung zu vernichten. Dagegen ist die umgekehrte Kräfteverwandlung an gewisse Bedingungen geknüpft, deren Wesen sich hier nur andeuten läßt. Die Dampfmaschine dient zur Verwandlung von Wärme in äußere Bewegung. In derselben und in jeder konkurrierenden Maschine finden wir ausnahmslos immer Wärme von zwei verschiedenen Wärmegraden vor, den Dampfkessel von hoher Temperatur, den Condensator von niedrigerer. In den sog. Hochdruckmaschinen kann allerdings der letztere durch die (kühle) äußere Luft ersetzt werden. Und selbst bei dieser Einrichtung gelingt nur die Überführung eines Bruchteils der aufgewendeten Wärme in Bewegung. — Unsinnig dagegen würde es erscheinen, wollte man auf die Ausbeutung der

doch gewiß in großer Menge vorhandenen Wärme von gewöhnlicher Temperatur unserer Erde hin eine Maschine konstruieren. —

Diese Wahrnehmung des einseitigen Übergangs von Wärme von hoher Temperatur in Bewegung veranlaßte noch vor kurzem unsere Physiker zu der unerschrockenen Folgerung, daß die Bewegung aller Weltkörper im Verlaufe von Millionen und Milliarden von Jahren mehr und mehr abnehmen, ja schließlich ganz aufhören und dafür einem höheren und sehr gleichmäßigen Wärmegrade Platz machen müßte, bis jüngst eine sehr geistreiche Idee diesen Weltstillstand wieder glücklich von uns abgewendet hat.

Wie wir die Wärme, die in einem beliebigen Temperaturgrade steckt, nicht nach Willkür benutzen können zu einer mechanischen Arbeitsleistung, so ist sie auch nicht fähig zu einer andauernden chemischen Arbeit, worunter in unserem Falle die Lostrennung des Sauerstoffs von Kohlenstoff und Wasserstoff, zu welchen jener eine sehr große Anziehungskraft besitzt, zu verstehen wäre. Die bloße Wärme in diesem Sinne eines bestimmten Temperaturerfordernisses kann also nicht die arbeitende Kraft bei jener Produktion sein.

21. Hier wollen wir die Herleitung unterstützen durch die Beobachtung und fragen, welche äußeren Kräfte wirken denn sonst mit bei dem Vorgange in den grünen Pflanzenteilen? — Von elektrischen und magnetischen Kräften ist das Pflanzenleben, so viel wir wissen, unabhängig. Wie steht es aber mit der Wärme in einem andern Sinne, mit der Wärme, welche von einem heißeren Körper zu einem kälteren überströmt — mit der strahlenden Wärme, welche wir, soweit sie auf die Netzhaut unserer Augen einwirkt, Licht nennen? — Und da fällt es uns denn wie Schuppen von den Augen. Die Pflanzen entwickeln sich längs der Fläche unserer Erde, weil sie lichtbedürftig sind, und wollen wir sie im Zimmer kultivieren, so müssen wir sie dicht ans Fenster setzen, wo es am hellsten ist. Schließen wir sie in Keller ein, so zeigen sie lange krankhafte Triebe, die sie nach den Spalten der Läden hindrängen, durch welche eine Spur von Tageslicht eindringt.

22. Doch die Wissenschaft bedarf einer strengeren Beweisführung, und eine solche ist denn auch in diesem Falle vollständig

erbracht. Alle die früher erwähnten Versuche von Trockengewichtszuwachs und Sauerstoffausscheidung mit grünen Pflanzenteilen gelingen nicht, wenn man das Licht abschließt, und zwar ist ziemlich starkes Tageslicht oder mit besserem Erfolg Sonnenlicht dazu erforderlich. Am besten gelingen solche Versuche mit Wasserpflanzen, welche in kohlensäurehaltiges Wasser untergetaucht von den Stengelschnitten aus einen sehr regelmäßigen Blasenstrom von Sauerstoff entwickeln. Rückt man solche Versuchspflanzen abwechselnd von der Sonne in den Schatten, vom Schatten in die Dämmerung, so kann man ganz regelmäßig den Blasenstrom sich verlangsammen und dann aufhören sehen. Ja man besitzt im einfachen Zählen der Blasen, etwa innerhalb einer Minute, den besten Maßstab, die Raschheit der Erzeugung neuer Pflanzenmasse zu messen, und es dient nicht in letzter Linie als Beweis dafür, daß wir in dem Lichte oder besser in den Sonnenstrahlen, die arbeitende Kraft für den fraglichen Vorgang zu sehen haben, daß es unter gewissen Voraussetzungen gelang, bei Verdoppelung der Lichtstärke auch die Blasenzahl innerhalb einer Minute zu verdoppeln, also auch die quantitative Abhängigkeit des Vorganges zu erweisen.

23. So ist denn hiermit unsere Erkenntnis von dem merkwürdigen Vorgang in den grrünen Pflanzenteilen ein einigermaßen abgerundeter. Zu dem Auseinanderreißen der sehr festen chemischen Verbindungen, Kohlensäure und Wasser und zur Erzeugung von organischen Stoffen aus den verbleibenden sauerstoffarmen Resten ist wie zur Hebung eines Gewichtsteins Kraft erforderlich, und diese Kraft wird geliefert durch die Sonnenstrahlen, so daß nur am Tage produziert, in der Nacht das Produzierte nur weiter umgewandelt wird.

Aus dem gleichen Grunde erschöpft sich ein Keimling unter der Erde, wenn der Same zu tief untergebracht wurde, und ist vielleicht nicht mehr fähig zu einer kräftigen Pflanze zu erwachsen, wenn er endlich seine Blättchen zum Tageslicht emporstreckt. Ebenso nehmen die Kartoffeln, wenn sie im Keller in den Frühlingsmonaten ausschlagen und ein lebhaftes Wachstum zeigen, doch nicht an verbrennlicher oder verdaulicher Masse zu, auch wenn man die Stoffe, welche in die Triebe übergegangen sind, mit hinzurechnet, und wenn auch hie und da einmal eine kleine neue

Knolle angesetzt wird. Gerade deshalb ist auch dieser Vorgang von den Hausfrauen nicht gerne gesehen, und kühle Keller, wo das Auskeimen sehr langsam erfolgt, werden vorgezogen.

24. Ja die praktischen Folgen, welche sich hier ergeben, sind noch viel weitgehender. Weil das Licht notwendig zur Pflanzenproduktion mitwirkt, deshalb ist diese Produktion auf einer gegebenen Grundfläche eine enge begrenzte, denn alle übrigen Bedingungen des Pflanzenwachstums lassen sich in diesem Rahmen bis ins Unberechenbare vermehren. Der Forstwirt würde keinen Vorteil davon haben, wenn er bei dem Ausholzen schonender verführe und die doppelte Anzahl Stämme, als üblich ist, stehen ließe. Doppelt soviel Bäume würden nur die nämliche Klafterzahl an Holz als Erträgnis abwerfen, weil die beschatteten Kronen an der Produktion gehindert sein würden. Auch bildet aus demselben Grunde der in einer Lichtung stehende Baum sich gleichmäßiger und breitwüchsiger aus, während in einem jungen dichten Bestande langgestreckte Stangen emporschießen.

Dieselbe Gesetzmäßigkeit zwingt den landwirtschaftlichen Betrieb dazu, sich über weite Flächen auszudehnen, weil eben die Sonnenstrahlen sich über weite Flächen ergießen. Der Ackerbauer kann nicht auf einem beliebig kleinen Bodenraume mit daselbst angehäuften Hilfsmitteln sein Gewerbe ausüben, wie der Fabrikant in stockhohen Gebäuden seine Produkte erzeugt; und diese Abhängigkeit vom Raume bestimmt natürlich in letzter Linie sogar Sitten und Charakter der ländlichen Bevölkerung.

25. Diese weitgehenden und wichtigen Folgerungen erstrecken sich aber natürlich nur auf das Leben der grünen Gewächse. Nichtgrüne Pflanzen verhalten sich auch hierin wie die Tiere, sie sind mit ihrer bloßen Umwandlung der schon erzeugten organischen Masse nicht an die Orte des Lichts gebunden, sondern vollziehen ihre Lebenserscheinungen unbeirrt auch in tiefer Finsternis. Ich erinnere an die Champignonkultur, wobei nur die verbrennlichen Bestandteile der Erde und des Pferdemistes wiederum in die gleichfalls verbrennlichen, also in dieser Hinsicht gleichwertigen, aber auch zugleich wohlschmeckenden und darum wertvolleren Bestandteile des Pilzleibes umgesetzt werden. Diese kann in Kellern vorgenommen werden; ja nichts würde im Wege stehen, sie in

thurmhohen Gebäuden fabrikmäßig zu unternehmen; denn sie ist ihrer Natur nach etwa der Hefenfabrikation zu vergleichen, nicht aber dem gewöhnlichen landwirtschaftlichen Pflanzenbau.

Alles Übrige, was die Naturforschung bis jetzt an den Tag gefördert hat, über die Gesetzmäßigkeiten jenes fundamentalen Vorgangs in den grünen Pflanzenteilen, ist nur in zweiter Linie von Bedeutung und ist auch, wie wir hinzusetzen können, minder klar als das bis jetzt Mitgeteilte. Wir werden uns daher hier auf weniges beschränken können. Daß die Naturforschung nach einer tieferen Einsicht streben muß, ist selbstverständlich; aber es haben sich hier große Schwierigkeiten gezeigt, eine solche tiefere Einsicht zu erlangen.

26. Vor allem hat man sich gesagt, daß die Antwort, die Sonnenstrahlen bewirken die Sauerstoffabscheidung aus grünen Pflanzenteilen, noch eine sehr allgemeine ist, da wir schon lange in der Naturlehre Strahlen von sehr verschiedenen Eigenschaften unterscheiden, und da gerade das natürliche Gemisch der Sonnenstrahlen die allerbunteste Zusammensetzung zeigt. Wir brauchen uns auch hier nicht gelehrt auszudrücken und von Prisma und Spektrum zu reden, und können doch die Hauptsache, um die es sich handelt, dem Verständnis eines jeden Verständigen nahe bringen.

Jedermann weiß, daß ein dunkler Ofen auf einige Schritt hin erwärmen kann, daß er Wärme ausstrahlt, wie wir uns ausdrücken. Erst wenn er glüht, strahlt er mit der dunklen Wärme auch Licht aus. Andere Körper wie der Mond, wie ein weißes Schneefeld leuchten bloß, ohne erheblich zu wärmen. Die Sonne leuchtet und erwärmt zugleich. Diese bekannten Erfahrungen werden von uns so ausgedrückt. Die Strahlen, welche von wärmeren oder helleren Körpern durch die Luft oder durch den Weltraum zu kälteren und dunkleren entsendet werden, sind von verschiedener Natur, von welchen nur gewisse auf unsere Sehnerven einwirken. Diese unterscheiden wir durchaus willkürlich, da die gezogene Grenzlinie für die Dinge außer uns keine Bedeutung hat, als Licht.

Aber dunkle Wärmestrahlen unter sich und sog. Lichtstrahlen unter sich sind auch noch nicht gleichwertig. Wir haben uns die-

selben vielmehr, wie aus weiteren Untersuchungen hervorgeht, zu denken, mit geringen Unterschieden sich lückenlos aneinanderreihend, wie die Töne eines Klaviers. Man denke sich das Ohr eines Gehörleidenden nur empfänglich für eine oder zwei Oktaven in der Mitte, da haben wir das, was die Menschen so überzeugend, weil so unmittelbar der sinnlichen Erfahrung entstammend, als ein Ding für sich hinstellen. Die unteren Töne entsprächen dann den dunkeln Wärmestrahlen.

Wir haben gesagt, daß auch noch die als Licht zusammengefaßten Strahlen unter sich verschieden seien; und das ist in der That der Fall. Nur das, was wir Farbe nennen, entspricht den einzelnen einheitlichen Lichtarten. In dem Sonnenlichte sind alle diese Farben miteinander gemischt, so daß wohl Helligkeit aber keine einzelne Farbe für sich mehr empfunden wird — eine Wahrnehmung, die wir als weiß zu bezeichnen gewohnt sind. Und natürlich besitzen wir Mittel, diese einzelnen Strahlengattungen aus dem gemischten Sonnenlichte abzuscheiden, ähnlich wie wir die natürliche ungleichartige Ackererde durch gröbere und feinere Siebe in Steine, Körner, Sand und Staub zerlegen können. Farbige Gläser sind solche Lichtsiebe und wir nennen sie gelb, rot u. s. w., wenn sie alle übrigen Strahlen in sich zurückbehalten und nur die gelben oder roten durch sich hindurchlassen.

Auch noch andere Methoden, diese Trennung auszuführen, sind uns bekannt, z. B. solche die — um bei unserem Beispiele zu bleiben — dem Schlämmen der Erde vergleichbar sind. Lassen wir Licht durch ganz durchsichtiges und farbloses Glas, das aber schiefwinklich geschliffen ist, hindurchtreten, so kann man die einzelnen Strahlengattungen durch die verschiedenartigen Richtungsänderungen, die sie erleiden, voneinander säuberlich trennen und gesondert auffangen. Jedermann kennt die bunten Farben, welche von den altmodischen Kronleuchtern aus geschliffenen Glasstückchen niederstrahlen; und die schöne Naturerscheinung des Regenbogens entsteht auf dieselbe Weise unter Mitwirkung der runden und durchsichtigen Regentropfen.

27. Ebenso leichtverständlich wie die Fragestellung nach der Strahlengattung, welche sich an der Erzeugung der organischen Stoffe in den grünen Pflanzen vorzugsweise beteilige, ist auch

die Art und Weise, wie man dieser Frage durch Versuche gerecht zu werden strebte. Man ließ einfach den Vorgang der Sauerstoffabscheidung unter im übrigen gleichen Bedingungen, einmal in dunkeln Wärmestrahlen, einmal im gelben, ein andermal im roten Lichte vor sich gehen und maß die Menge des in gleichen Zeiten ausgeschiedenen Sauerstoffs.

Man fand so, ohne im übrigen zu ganz unbezweifelten Zahlen gelangt zu sein, daß einmal die Wirkung auf die Pflanzen ungefähr mit dem überein kam, was auch auf das menschliche Auge wirkt, daß also ganz besonders das Licht und zwar das stärkst leuchtende Licht auch am meisten die Produktion befördert, sodann daß die blauen Strahlen, welche besonders bei der Photographie wirksam sind, und welchen man eine Zeit lang ein Privilegium auf chemische Thätigkeit ausgestellt hatte, keineswegs allein oder ganz überwiegend in Betracht kommen. Man weiß, die Entwickelung der Zeiten ist den Privilegien nicht günstig, und so mußte auch dieses, obgleich durch gewichtigte Autoritäten geheiligt, dem frischen Strome naiver wissenschaftlicher Erfahrung weichen.

Aus der gegebenen Beantwortung folgt zugleich, daß nicht bloß das Sonnenlicht, sondern auch andere und künstliche Lichtarten grüne Pflanzenteile zur Produktion anregen müssen. In der That gelang es, bei kräftigem Lampen- und Gaslicht Sauerstoffabscheidung aus untergetauchten Wasserpflanzen zu beobachten, und das Mondlicht leistet nur deshalb unmerklich wenig, weil es gegen das Sonnenlicht verschwindend schwach ist.

28. Einen nicht ebenso großen experimentellen Aufwand, aber das gleiche eingehende Interesse wendet man seit vielen Jahren einer anderen Unterfrage zu, welche auf die Klarlegung des *chemischen Vorgangs* bei Erzeugung neuer organischer Masse hinzielt. Warum besorgt allein die lebende grüne Zelle die Sauerstoffabscheidung aus Kohlensäure und Wasser? — Welche Rolle spielt der grüne Farbstoff, dessen Anwesenheit die Zelle zu einer produktionsfähigen macht, dabei? — Auf alle diese wichtigen Fragen hat die Wissenschaft noch keine genügende Antwort gegeben, und alles, was die Versuche ergeben haben, ist als bloße Vorarbeiten zu betrachten.

Es ist allerdings gelungen, den grünen Farbstoff bis zu einem gewissen Grade der Reinheit für sich darzustellen. Wir haben namentlich eine genaue Kenntnis erreicht von dessen Verhalten dem Lichte gegenüber, von den Strahlengattungen, welche der Farbstoff durchläßt, und von denen, die er verschluckt. Aber weder haben wir den Farbstoff außerhalb von lebenden Pflanzenzellen dazu vermocht, im Lichte aus kohlensäurehaltigem Wasser Sauerstoff abzuscheiden, noch ist uns dies bei irgend einer andern künstlichen Zusammenstellung gelungen, so daß wir eben immer wieder aussprechen müssen: es ist die lebende grüne Zelle, welche etwas Derartiges ganz allein fertig bringt. Und eben in diesem Bekenntnis, in welchem das geheimnisvolle Wort Leben eine Rolle spielt, ist das Geständnis unseres Unvermögens zu einer tiefern Einsicht der Ursache nach eingeschlossen. Sobald die Lebensthätigkeit in irgend einem Stücke begriffen ist, können wir bei dessen Beschreibung dieses Wortes entraten. Wir können z. B. den Verdauungsprozeß der Tiere, welchen wir in einer Glasflasche nach Willkür sich abspielen lassen können, in allen seinen wesentlichen Punkten darstellen ohne eines lebenden Magens Erwähnung zu thun.

29. Auch mit der Entstehung der Pflanzenzellen mit grünem Inhalte hat sich die Forschung vielfach befaßt. Gemeinhin ist auch das Licht dazu notwendig, um vorher ungefärbten Pflanzenteilen die grüne Färbung zu erteilen, ohne natürlich umgekehrt dem Lichte die Fähigkeit zuzusprechen, einen jeden ungefärbten Pflanzenteil grün zu malen. Ein Keimling, im Finstern erzogen, produziert nicht bloß nicht, weil Licht zur Produktion notwendig ist, sondern auch nicht, weil der grüne Farbstoff sich im Dunkeln nicht ausbildet, wobei er durch ein fahles Gelb ersetzt wird.

Dazu kommen dann noch andere Einwirkungen der Dunkelheit, welche sich als Gestaltsveränderungen zusammenfassen lassen. Ein ganz unnatürliches Längenwachstum, eine geringe Breitenentwickelung der Blätter, ein wasserreiches substanzarmes Gewebe — kurz Eigenschaften, wie wir sie an Kartoffelschößlingen in dem Keller oder an dem in den Rübengräbern ausgetriebenen Rübenkraute wahrnehmen; das Alles ist für die im Dunkel erzogene

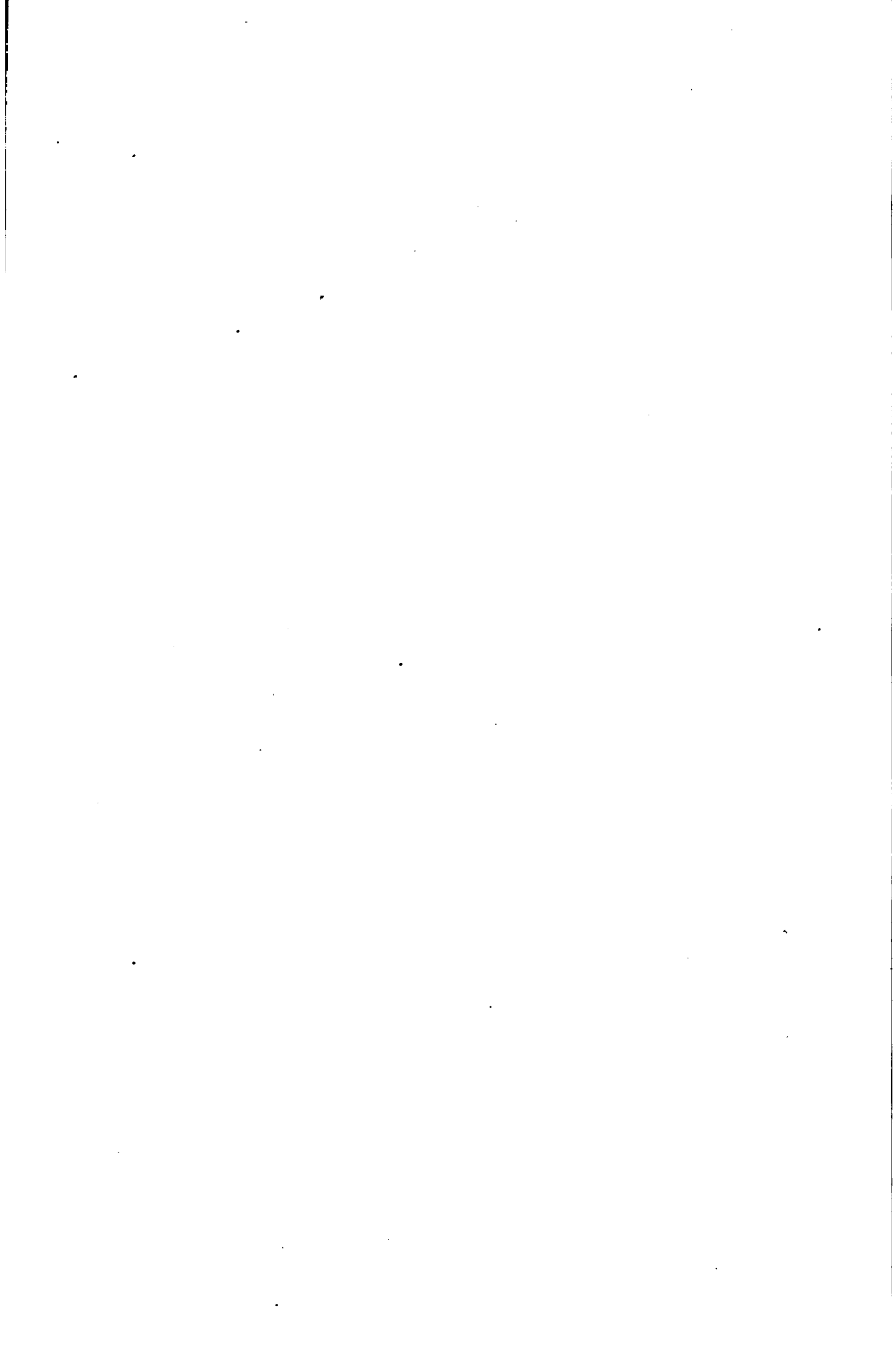
Pflanze charakteristisch und giebt uns Veranlassung, dieselben mit einem eigenen Namen, einer vergeilten oder etiolirten Pflanze zu bezeichnen. Aber die völlig bleiche Farbe ist unter diesen ungewöhnlichen Lebensbedingungen nur die Regel, nicht ein unumstößliches Naturgesetz, zum Zeichen, daß das Licht nur eine mittelbare Rolle spielt, und gelegentlich, wenn auch noch so selten durch andere Kräfte ersetzt werden kann. Die Keimlinge einiger wenigen Pflanzen ergrünen bei völligem Abschluß von Licht. Auch sind zum Ergrünen nur sehr geringe Mengen von Licht notwendig, was auch für die geringere Bedeutung der Rolle, welche hier das Licht spielt, spricht.

30. Und selbst damit ist die Abhängigkeit der grünen Pflanzenteile vom Lichte noch nicht erschöpft. Licht ist auch notwendig, damit die fertig gebildeten und gefärbten Blätter in richtiger Beschaffenheit erhalten bleiben, Licht wirkt mit bei der Entfärbung der immergrünen Blätter in der Kälte — ein weites Feld für wissenschaftliche Einzelforschungen, aber ohne so unmittelbare Beziehungen zu dem praktischen Zwecke, um dessentwillen der Landwirt sich für die Gesetze des Pflanzenlebens interessiert.

---

2. Abschnitt.

Umwandlungen und Ortsveränderung der verbrennlichen Stoffe in der Pflanze.



Der Vorgang der Erzeugung der verbrennlichen Pflanzenstoffe, wie ihn die vorausgehende Darstellung gelehrt hat, würde nur Aufschluß geben über das Vorkommen von diesen Stoffen innerhalb der grünen Zellen, welche wir allein als produktionsfähig gefunden haben; er würde uns ferner nur Aufschluß geben über das Vorkommen derjenigen Stoffe daselbst, welche als unmittelbare Produkte jenes wunderbaren Vorgangs anzusehen sind; er würde uns aber gänzlich im Dunkeln lassen über die Versorgung der zahlreichen nichtgrünen Pflanzenteile, über das Wachsen der Wurzelfrüchte, über das Dickerwerden der Baumstämme, über das Reifen des Obstes. Und ebenso würden wir von dem bis dahin erlangten Standpunkte aus uns nicht Rechenschaft zu geben vermögen von dem Auftreten so zahlloser chemischen Körper, welche alle unter dem allgemeinen Ausdrucke: verbrennliche Stoffe zusammengefaßt in den Pflanzen aufzutreten pflegen.

31. Welche sind nun eigentlich die **unmittelbaren** Erzeugnisse der Produktionsthätigkeit, welchen in der Folge so mannigfache Wandlungen und Wanderungen bevorstehen? — Wir sind im stande, hierauf eine bestimmte und auch eine sehr einfache Antwort abzugeben; aber sehen wir zugleich, auf welche Belege hin sie abgegeben werden kann. Wenn man grüne Pflanzenteile, nachdem sie unter zuträglichen Bedingungen lange dem Sonnenlichte ausgesetzt waren, mit dem Vergrößerungsglas betrachtet, so sieht man nach gewissen Vorbereitungen, wie Körnchen des gewöhnlichen **Stärkemehls** in dem dicklichen grünen Zellsafte eingeschlossen erscheinen. Es kann kein Zweifel darüber bestehen, daß es sich wirklich um Stärkekörnchen handelt, weil wir ein untrügliches Hilfsmittel besitzen, diesen Stoff als solchen zu erkennen. **Jod**

in Weingeist gelöst ist ein solches Mittel; dasselbe erzeugt mit Stärke zusammengebracht eine äußerst tiefe Bläuung, und kein anderer Stoff zeigt mit Jodlösung etwas Ähnliches. Dieses Erkennungsmittel kann auch unter den schärfsten Vergrößerungsgläsern angewandt werden; und solche sind durchaus unentbehrlich, um die einschlagenden Beobachtungen zu machen. —

Wohl kann man auch ohne Vergrößerungsglas die in Rede stehende Färbung erkennen, wenn man Blätter zuvor mittelst Weingeistes von ihrem grünen Farbstoff befreit, und die Blauschwarzfärbung mit Jod unter diesen Umständen ist auch für das bloße Auge ein Erkennungsmittel des Stärkereichtums. Aber auf diese rohe Weise kann man natürlich nicht erkennen, welche Teile der Zellen die Stärketeilchen enthalten.

32. Ist es unzweifelhaft erwiesen, daß jene Einschlüsse aus feinen Stärkekörnchen bestehen, so ist es nicht minder gewiß, daß die Bedingungen ihres Entstehens und Vergehens die nämlichen sind, wie man sie überhaupt für die Vermehrung der verbrennlichen Trockenmasse kennen gelernt hat. Nicht bloß Licht und Dunkelheit sind für das Auftreten und Verschwinden der Stärke entscheidend. Wird einer leistungsfähigen Zelle bei voller Beleuchtung die Kohlensäure vorenthalten, so tritt kein Stärkemehl in der grünen Masse auf. Wird eine solche dauernd durch irgend eine unerfüllte Bedingung an der Produktion gehindert, so verschwinden die Stärkeeinschlüsse wieder — wie wir nachher sehen werden, infolge anderweitiger Verwendung des neuerzeugten Stoffes. Es ist namentlich der weitbekannte Pflanzenphysiologe J. Sachs gewesen, welcher sich um den Nachweis dieser Gesetzmäßigkeiten ein hohes Verdienst erworben hat.

33. Diesem unverkennbaren Augenscheine entsprechend ist man geneigt, das Stärkemehl als das Erstlingsprodukt der grünen Pflanzenzellen anzusehen. Jedenfalls ist es als das erste bis zu größeren Massen sich anhäufende Produkt aufzufassen, ohne daß damit über das Vorkommen etwaiger Zwischenstufen zwischen Kohlensäure und Wasser einerseits und Stärkemehl andererseits abgesprochen wäre.

Aber auch so vorsichtig gefaßt, haben wir es nur mit einer Regel, nicht mit einem Gesetze zu thun, das keine Ausnahme

leidet; denn bei einigen wenigen, wenn auch nicht landwirtschaftlich nutzbaren, Pflanzen treten Fetttröpfchen als erste wahrnehmbare Erzeugnisse der grünen Zellen auf; in andern Fällen kommt es gar nicht zu sichtbaren Ausscheidungen, sondern es gelingt nur, im Safte der entsprechenden Zellen die Anwesenheit von Zucker nachzuweisen.

Die letztere Beobachtung läßt sich nun mit der gewöhnlichen Form der Wahrnehmung recht gut in Einklang bringen. Stärkemehl und Zucker sind sich nahe verwandt, gehen in der Pflanze so leicht in einander über, daß es ziemlich gleichgiltig ist, ob wir das Auftreten des einen oder des andern feststellen. Auch künstlich sind wir wenigstens fähig, Stärkemehl in eine Zuckerart zu verwandeln, und die Traubenzuckerfabrikanten, deren Rohmaterial das Stärkemehl der Kartoffel ist, machen die ausgedehnteste Anwendung von dieser Möglichkeit. Dabei findet keine tiefgreifende Veränderung der Zusammensetzung statt. Nur 10 Prozent Wasser werden aufgenommen und in die Trockenmasse des Zuckers einverleibt. So können wir geradezu aussprechen: Stärke ist für die Pflanzen die unlösliche Form des Zuckers, dieser stellt die gelöste Form des ersteren dar.

Und, wenn wir diese Thatsachen berücksichtigen, so zweifeln wir, ob wir nicht trotz des Augenscheins gerade den Zucker ganz allgemein als das Erstlingsprodukt in den grünen Zellen ansprechen sollen; denn wir wissen, daß, wo in der lebenden Pflanze ein Übermaß von Zucker auftritt, einfach Stärkemehl niedergeschlagen wird, wobei allerdings das Sättigungsvermögen verschieden gearteter Zellen für Zucker das allerverschiedenste ist.

34. Auch zu den Fetten bestehen einfache Umwandlungsbeziehungen von seiten des Zuckers an sehr verschiedenen Orten der Pflanze. Hier haben wir es freilich mit einer tiefgreifenden Zusammensetzungsänderung zu thun, welche sich nicht so ohne weiteres abwickelt. Wenn Zucker und Stärke so zusammengesetzt sind, als wenn sich nur Kohlenstoff und Wasser mit einander verbunden hätten, so ist in den Fetten auch noch der Sauerstoff des Wassers bis auf einen kleinen Rest verschwunden, und wir nähern uns mit diesen Körpern merklich den reinen Verbindungen von Kohlenstoff mit Wasserstoff, den sog. Kohlenwasserstoffen.

Wenn demnach auch Fette in Stärke oder Zucker durch einfache Sauerstoffaufnahme durch eine unvollständige Verbrennung übergehen könnten, so kann der umgekehrte Vorgang, welcher der Gegensatz ist einer Verbrennung, wie wir in unserem ersten Abschnitte auszuführen hatten, nicht ohne äußere Kraftquelle vollzogen werden. Da nun außerhalb der grünen Zellen solche Kraftquellen nicht zur Verfügung stehen, aber gerade in solchen nichtgrünen Zellen fortwährend die weitgehendsten Stoffverwandlungen vorkommen, so bleibt kein Ausweg, als die Rückverwandlung von Zucker in einen Fettkörper durch Spaltung vor sich gehen zu lassen, also daß sich Kohlensäure und zugleich etwas Wasser abspaltet; dann wird, da sehr sauerstoffreiche Stoffe fortgenommen werden, ein sehr sauerstoffarmer wie Fett zurückbleiben können.

Daß wir es in diesem Auswege mit einem möglichen zu thun haben, beweist die Betrachtung der Wandlung und Rückwandlung als einziger Vorgang. Fett wird zu Zucker durch Sauerstoffaufnahme, Zucker wird zu Fett durch Kohlensäure- und Wasserabgabe. Also alles in eins gerechnet, bleibt Fett Fett, nur ein Teil davon verbrennt mit Aufnahme von Sauerstoff vollständig zu Wasser und Kohlensäure. Wir haben es also, in dieser Weise geordnet, mit einem einfachen Verbrennungsvorgange zu thun, der überall und ohne Aufwendung von äußerer Kraft möglich erscheint.

35. Diese Beziehung der Fette zu der Stärkemehlgruppe sind deshalb wichtig, weil jene neben dieser eine große Bedeutung für den Haushalt der Pflanze in Anspruch nehmen, aber wie alle nicht ganz unmittelbaren Erzeugnisse der grünen Zelle ihren Ursprung von diesen Erstlingsprodukten herschreiben müssen. Sehen wir zu, wie sich Stoffe der Stärkegruppe und andere Stoffe der gleichen Elementarzusammensetzung aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff an dem Aufbau und der Einrichtung des Pflanzenleibes beteiligen. — Wir können hauptsächlich solche unterscheiden, welche gleichsam als Bausteine des immer wieder neu zu errichtenden Gebäudes dienen, und dann solche, welche als Vorräte für eine Periode anzusehen sind, in der die Neubeschaffung von Material seine Schwierigkeiten hat. Wir sprechen in diesem Sinne dann von *Baustoffen* und *Vorratsstoffen*.

36. Wenn wir den Pflanzenleib nun doch einmal mit einem Gebäude vergleichen, wie es von Menschenhand errichtet wird, so ergeben sich für seine nähere Einrichtung sofort nahe liegende Vergleichungspunkte. Wie in einem Hause einzelne Stuben und Kammern abgeteilt werden, so sind auch in dem Pflanzenkörper viele durch feste Wände abgegrenzte Räume hergestellt, und wenn die Pflanze wächst, so finden in einer für uns noch rätselhaften Weise solche Abteilungen des frisch angelegten Pflanzenstücks durch Längs- und Querwandungen fortwährend statt. Nach außen hin sind — ähnlich wie bei den menschlichen Baukonstruktionen — diese Wandungen meistens von bedeutenderer Dicke und Widerstandsfähigkeit.

Diese Einrichtuug bietet für die Pflanze nicht bloß die Vorteile dar des innern Zusammenhangs und der Festigkeit, sondern wieder ähnlich dem angezogenen Vergleichungsgegenstande handelt es sich um Abtrennung von Räumen, die zu verschiedenen einander störenden Verrichtungen dienen, also etwa nach dem Vorbilde einer Fabrik, in welcher an dem einen Orte Dampf erzeugt, an dem andern Garn gesponnen werden soll — Prozesse, welche in einem und demselben Raume einander hinderlich sein würden.

Die einzelnen so abgeteilten Orte sind nun in der Pflanze außerordentlich klein, so daß die Erfindung sehr scharfer Vergrößerungsgläser dazu notwendig war, sie wahrzunehmen und ihrer nähern Einrichtung nach zu studieren. Dementsprechend ist natürlich eine sehr große Zahl von einzelnen abgeteilteu Räumen selbst in einer sehr kleinen Keimpflanze vorhanden; und selbst die größte Kaserne oder das ausgedehnteste Fabrikgebäude würde in dieser Hinsicht einen Vergleich nicht aushalten. Man hat deshalb auch die beobachteten Räume nicht als Säle oder Zimmer sondern nur als Zellen bezeichnet.

37. Unsere Frage läuft also zunächst darauf hinaus, aus welchem Materiale denn diese Wandungen, welche nun natürlich Zellwandungen heißen, aufgeführt sind? — Es ist nicht gar schwierig, die Zellwandungen aus einer Pflanze in ziemlicher Reinheit für sich zu gewinnen. Ein gründliches Zertrümmern des Gebäudes, ein Auslaugen und Wegschwemmen des nicht Niet-

und Nagelfesten durch Wasser muß dazu den besten Weg darstellen. Einige chemische Mittel, welche auf die Zellwandungen nicht schädigend wirken, thun dann zur Vervollkommnung des Reinigungsprozesses das Ihre. Man erhält auf solche Weise aus ganz beliebigen Pflanzen und Pflanzenteilen regelmäßig eine farblose faserige Masse, wie sie etwa unser Papier darstellt, und in der That ist dieses Papier ja auch nichts anderes als solche ausgelaugte pflanzliche Zellsubstanz, nur auf einem Umweg aus besonders langgedehnten und widerstandsfähigen Zellwandungen, den sog. Gespinstfasern oder als Surrogat aus anderen ähnlichen Geweben gewonnen.

Wenn man nun diese übrig bleibende Masse einer chemischen Untersuchung unterwirft, so ergiebt sich merkwürdigerweise genau die Zusammensetzung des Stärkemehls, sowohl der Art der beteiligten drei Grundstoffe nach, wie nach den Verhältnissen ihrer Zusammenmischung. Trotzdem haben wir es in ihm nicht mit Stärkemehl selber zu thun, sondern nur mit einem Stoffe aus derselben Gruppe und diesem allerdings so nahe verwandt, daß bloß eine Behandlung mit einer starken Säure dazu gehört, um jene wenigstens teilweise in dieses überzuführen. Wir unterscheiden daher den Baustoff der Zellwände durch einen besonderen Namen, Zellstoff. Neben diesem Stoffe beteiligen sich dann namentlich an dem Aufbau älterer, verholzter Zellwandungen auch noch einige andere etwas sauerstoffärmere Verbindungen, von deren Behandlung wir hier Umgang nehmen können.

38. Wir stoßen hier zum erstenmale auf die anfangs befremdliche Thatsache, daß zwei Stoffe von genau der gleichen qualitativen und quantitativen Zusammensetzung verschiedene Eigenschaften aufweisen können. Wie stimmt dies mit unserer chemischen Grundanschauung, daß die Verschiedenheit der zusammengesetzten Stoffe aus der Verschiedenheit der Zusammensetzung zu erklären sei? — Dieses widerspruchsvolle Vorkommnis, in der unorganischen Welt vergleichungsweise eine Seltenheit, ist für die kohlenstoffhaltigen Körper etwas Alltägliches; und eben dadurch wird auch seine Erklärung erleichtert. Der Kohlenstoff zeigt eben von allen Grundstoffen die mannigfaltigsten Verbindungsverhältnisse, so zwar, daß das Studium der Kombinationen dieses einzigen Elementes

unsern Chemikern mehr Mühe macht, als die Chemie aller übrigen Grundstoffe zusammengenommen.

Wir können uns etwa durch folgendes Bild die nicht abzuleugnende Thatsache zurecht legen. Ähnlich wie ein Maler mit qualitativ und quantitativ genau derselben Menge von Carmin Indigo, Bleiweiß ꝛc. das eine Mal einen schmutzigen Jungen, das andere Mal ein Fruchtstück auf seiner Leinwand hervorzaubern kann, ähnlich wie der Buchdrucker mit genau denselben Lettern heute eine Heiligengeschichte, morgen eine Schmähschrift setzen kann; ähnlich kommt es bei der Zusammensetzung der Körperwelt aus Grundstoffen nicht bloß auf die Pauschanalyse, sondern ebenso auf die nähere Anordnung der Einzelbestandteile an, und wir dürfen uns darnach nicht mehr wunden, daß z. B. der saure Essig und der süße Zucker genau einerlei Zusammensetzung aufweisen. Ja wir besitzen sogar einige Mittel, mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit etwas über diese nähere Anordnung der Elementarbestandteile zu erfahren. Also sogar die Wissenschaft, die es unternimmt, sich ausschließlich mit dem Stoff als solchem zu beschäftigen, auch sie kann ihrer Aufgabe nicht gerecht werden, ohne der Form Rechnung zu tragen.

Der Kohlenstoff nun, mit der mannigfaltigsten Verbindungsfähigkeit andern Grundstoffen gegenüber begabt, er kommt auch dementsprechend am häufigsten in die Lage, bei gleicher durchschnittlicher Beteiligung bloß durch wechselnde Anordnung Verbindungen von wechselnden Eigenschaften zu erzeugen. Die Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoffteilchen des Zellstoffs und des Stärkemehls haben wir uns daher in verschiedener Anordnung zu denken. Die Anordnung wird allerdings eine sehr ähnliche sein, da beide Körper einander so nahe stehen und ersterer sich so leicht in letzteren überführen läßt, was sonst bei dergleichen Fällen, z. B. für den oben angeführten von Essig und Zucker, entfernt nicht immer der Fall ist.

39. Die Beziehungen des Hauptbaumaterials zu den Erstlingserzeugnissen der grünen Zelle sind also äußerst einfache. Wir haben es mit lauter Stoffen der nämlichen Gruppe zu thun, welche ohne tiefgreifende chemische Vorgänge in einander überführbar sind. Wenn also nur das in den grünen Zellen neugebildete

verbrennliche Material rasch an die Stätten des Neubaues *in* der Pflanze geschafft werden kann, so wird die Errichtung von neuen Außen- und Zwischenwänden keinerlei Schwierigkeiten haben.

40. Sehen wir zu, ob sich ebenso einfache Beziehungen zu den vorratsweise aufgespeicherten Stoffen ergeben. Auch darin ist wieder die Pflanze einem Fabrikgebäude vergleichbar, daß die fertig gestellten Kammern oder Zellen zu einem Teil und in gewissen Jahreszeiten mit Vorratsstoffen angefüllt werden. Und auch der Nutzen dieser Einrichtung erlaubt das Gleichnis fortzuspinnen. Die Gewächse sind im kalten und gemäßigten Klima das ganze Jahr hindurch nicht gleichmäßig befähigt, neue verbrennliche Stoffe fortzuerzeugen.

Auch in den heißen Zonen zieht oft periodische Trocknis eine ähnliche Grenze wie bei uns die Winterkälte. In der kalten Jahreszeit gehen nun regelmäßig die grünen lebhaft vegetierenden Blätter und Triebe zu Grunde, da überall gerade das am meisten mit sichtbarlichem Leben Begabte dem Tode am rascheſten unterliegt. Nichts bleibt übrig, als Organe und Pflanzenteile, welche zwar die Fähigkeit zur Neuentwickelung in sich verborgen tragen, aber zur Zeit nicht vegetieren und eben deshalb am unempfindlichsten gegen äußere Einflüsse sind.

Diese widerstandsfähigen Organe, sie mögen nun bei den mehrjährigen Gewächsen Stamm und Wurzel oder bei den einjährigen Samen heißen, müssen im Frühjahr erst die grünen Teile aus sich heraus entwickeln. Es muß auch ein vorübergehender Frostschaden an diesen wieder überwunden werden können. Erst nachdem sich wieder leistungsfähige grüne Organe durch Sprossung gebildet haben, kann von einer ansehnlichen Neuproduktion wiederum die Rede sein. Hierzu sind Vorratsstoffe an verbrennlicher Pflanzensubstanz erforderlich, gerade wie man deren in Fabriken, im landwirtschaftlichen Betriebe bedarf, oder auch wie Banken für Perioden der Krisen Reservekapitalien anzusammeln pflegen.

41. Die Lage der Vorratskammern ist freilich in verschiedenen Gewächsen eine recht verschiedenartige. In den Bäumen dient das Holz selber als solches. Bei den Wurzel- und Knollengewächsen sterben im Winter die oberirdischen Pflanzenteile ab, und dort sind es eben die massig entwickelten Wurzel- und unter-

irdischen Stengelorgane, von deren Vorräten die im Frühlinge austreibenden Sprossen zehren. In dem Samen finden sich regelmäßig neben den ganz in Miniatur angelegten jungen Pflänzchen besondere, freilich je nach der botanischen Natur des Samens sehr verschiedenartige Stoffbehälter, nach deren Abtrennung der Keimling der schlechten Versorgung wegen aufhört entwickelungsfähig zu bleiben.

42. Je nach dem Orte dieser Reservebehälter in einer Pflanze richtet sich nun zum Teil auch die Natur der angehäuften Vorratsstoffe. In dem Holze treffen wir mit großer Regelmäßigkeit nur Stärke an, die sich dann in der ersten Frühlingswärme vor dem Austreiben der Knospen in Zucker verwandelt.

Die Beziehung dieser Stoffe zur Entwickelung des jungen Laubes tritt besonders klar zu Tage bei Manipulationen, welche wir aus Spielerei oder in technisch vollkommener Weise mit den süßen Frühjahrssäften der treibenden Bäume vornehmen. Wenn aus dem Ahorn durch Abzapfung des Zuckersaftes eine große Menge der in Fluß geratenen Bildungsstoffe entfernt wird, so leidet die Entwickelung seiner grünen Organe Not; und aus dem gleichen Grunde wacht der sorgsame Waldhüter darüber, daß lüsterne Jungen nicht eine ähnliche Industrie an den jungen Birken extemporieren.

43. In den Wurzel- und sonstigen unterirdischen Organen finden wir auch Reservestoffe aus der Stärkegruppe; aber es ist nicht immer das Stärkemehl selber, welches dort vertreten ist. Die Knollen unseres weitverbreitetsten Wurzelgewächses, der Kartoffel, sind ein vortreffliches Beispiel für eine ganz enorme Stärkemehlanhäufung, wie wir auch bekanntlich durch Anbau dieser Pflanze am wohlfeilsten Stärkemehl im großen erzeugen. In den Runkelrüben dagegen geschieht die Ansammlung in Form von krystallisierbarem Rohrzucker; in den Pferdekartoffeln in Form eines weniger bekannten Gliedes der Stärkegruppe, welches sich auch wie der Zucker nur in gelöstem Zustande in der Pflanze vorfindet, von sogenanntem Inulin.

In allen diesen Fällen ist die Beziehung der dauernd niedergelegten Vorratsstoffe zu den ursprünglich in den grünen Zellen erzeugten eine ebenso überraschend einfache, wie dieser letzteren zu

dem Baustoffe der Zellwand. Es handelt sich bei den betreffenden Umwandlungen höchstens um eine geringfügige Hinzuziehung oder Abtrennung von Wasser oder um ganz untergeordnete Umordnung der elementaren Bestandteile der beteiligten Grundstoffe.

44. Nicht ganz so einfach ist aber die Sachlage für die Samen. Allerdings, auch hier ist der Fall ein ganz gewöhnlicher, daß Stärke sich als Vorratsstoff anhäuft. Wir gewinnen nicht bloß aus Kartoffeln Stärkemehl, sondern auch aus Weizen, und überhaupt sind hierfür die allerverschiedensten Getreidearten vom Roggen bis zum Reis sehr augenfällige Beispiele. Aber wir brauchen doch keine sehr ausgedehnte Rundschau zu halten, um auch der fetthaltigen Sämereien zu gedenken, z. B. der bezeichnend genug so genannten Ölsaaten, ferner des Lein-, des Erdnußsamens und vieler anderen. Hier sind (in einzelnen Fällen neben Stärke) Fette in den Vorratskammern, die dem jungen Keimlinge dienen sollen, angehäuft. Auch diese Fette müssen, vielleicht nach längeren Umwegen, aber deshalb nicht minder sicher, ihren Ursprung von dem Stärkemehl ableiten, das seiner Zeit in den grünen Blättern der Mutterpflanze neu erzeugt worden ist.

Freilich hat man, wie ich vorhin nicht verschwiegen habe, in einzelnen Pflanzen auch schon Fette in den grünen Organen aufgefunden, und zwar unter Verhältnissen, daß man geneigt ist, auch sie als Erstlingsprodukt der Erzeugung von verbrennlicher Pflanzenmasse daselbst aufzufassen. Allein diese Pflanzen sind nicht die nämlichen, von denen hier die Rede ist, so daß dadurch die Sachlage mit nichten vereinfacht werden kann.

Wir sind daher darauf angewiesen, die Stoffe der Fettgruppe und diejenigen der Stärkegruppe als ineinander überführbar anzusehen, und aus diesem Grunde haben wir für diese Verwandlung vorhin einige allgemeine Gesichtspunkte anzugeben versucht. Es bleibt für unsere Betrachtungen natürlich gleichgiltig, ob diese Überführung direkt geschieht, oder ob dabei gewisse Zwischenstufen betreten werden. Eine Umwandlung von einem Fett in Stoffe aus der Stärkegruppe, ein Vorgang, der einfach durch Zutritt von Sauerstoff möglich erscheint, muß in allen Fällen stattfinden, wo ein fetthaltiger Same auskeimt, wo also neue Zellwandungen auf Kosten von einem Reservevorrat an Fett an-

gelegt werden. In der That kann man derartige Übergänge mit Hilfe periodisch vorgenommener Untersuchungen, am leichtesten an Keimpflanzen in verschiedenen Stadien, bis ins Einzelne nachweisen und verfolgen.

Das Umgekehrte muß natürlich statthaben, wenn solche fetthaltigen Vorratskammern neu angelegt werden, also zur Zeit der Samenreife. Da wird das in den Blättern erzeugte Stärkemehl das Rohmaterial abgeben für das in der Umgebung des zukünftigen Keimlings niederzulegende Öl. Wir haben gesehen, daß dieser Vorgang der Sauerstoffverminderung, da er nicht bloß in grünen Organen und unter Einfluß des Sonnenlichtes erfolgt, nicht einfach in einer Ausgabe von Sauerstoff bestehen kann, sondern daß wir ihn uns als einen Spaltungsprozeß denken müssen. Wir haben allen Grund uns denselben so vorzustellen, daß dabei größere Mengen von Kohlensäure ausgegeben werden.

45. Immerhin würden sich die Umwandlungsvorgänge in der Pflanze noch erstaunlich einfach gestalten, hätten wir es in derselben nur mit Stoffen aus der Stärkegruppe und solchen aus der Fettgruppe zu thun. Thatsächlich liegen die Verhältnisse viel verwickelter; aber doch nur insofern, als die Zahl der in den Pflanzen anzutreffenden einzelnen Stoffe, ja der daselbst vertretenen Stoffgruppen eine sehr große ist; nicht in Bezug auf die Rolle, welche diese Stoffe spielen. Wir sind allerdings noch nicht tief eingeweiht in die chemischen Vorgänge, welche sich im Pflanzenleibe abwickeln; aber so viel ist doch gewiß, daß derjenigen Stoffe, von welchen Leben und Gedeihen der Pflanze abhängt, nur sehr wenige sind.

Die meisten der zahllosen übrigen organischen Substanzen, von denen wir zunächst zu berichten hätten, sind nur ganz vereinzelt in wenigen Pflanzenarten angetroffen worden, oder gar nur in einer Art unter bestimmten Umständen, unter anderen aber nicht. So bringt angeblich der Schierling seinen Giftstoff nicht an allen Standorten (z. B. in Schottland nicht) und unter allen Ernährungsverhältnissen hervor, und ganz ähnlich wird auch von den Chinabäumen berichtet, daß sie in unseren Treibhäusern, obwohl zur Not gedeihend, doch das fieberverscheuchende Alkoloïd nicht erzeugen und auch in den Tropen so ungleich reich an diesem

interessanten Bestandteil sind, daß der kleinere oder größere Besitz daran geradezu als eine erbliche Eigenschaft aufgefaßt wird. Ebenso ist für die Tabakpflanze bekannt, daß der Nikotingehalt derselben sehr variabel und ganz und gar von Umständen abhängig ist.

Aus solchen Beobachtungen geht aufs deutlichste hervor, daß derartig sporadisch oder launisch auftretenden Stoffen keine ganz allgemeine Bedeutung fürs Pflanzenleben zukommen kann; und mit dieser haben wir es ja einstweilen zu schaffen. Wir sind daher in der glücklichen Lage, die meisten der übrigen kohlenstoffhaltigen Substanzen mit Stillschweigen übergehen zu können, glücklich darum, weil ohne diese Möglichkeit die Einsicht in die Grundzüge des Pflanzenlebens nur dem gelehrten Chemiker, der alle die hunderte von Stoffen kennt, möglich wäre und eine volkstümliche Darstellung des ganzen Gegenstandes zur Unmöglichkeit werden würde.

Damit ist nun aber natürlich nicht ausgesprochen, daß die übrigen organischen Stoffe unnütz seien. Jene Alkoloïde z. B., die bekanntlich giftig sind, haben auch für die Pflanze den Nutzen, daß schädliche Tiere dadurch von der Veranlassung von Beschädigungen zurückgehalten werden. Andere Stoffe wie Harze und Kautschukkörper haben den offenbaren Nutzen zufällig entstandene Wunden, über deren Fläche sie sich ergießen, vor der schädlichen Einwirkung von Luft und Licht und gegenüber der Fäulnis zu schützen. Sie sind ein natürliches Baumwachs, wie solches der Gärtner beim Pfropfen gebraucht und isolieren nach zufälliger Entfernung der schützenden Rinde die inneren Teile, so daß deren Funktionen ungestört stattfinden können.

Aber man sieht, diese Vorteile sind mehr gelegentlich und stehen nicht mit den ersten Grundsätzen des Stoffwechsels und der Ernährung in Beziehung und können deshalb ungestraft bei der Erörterung dieser übersehen werden.

46. Einige Worte sind nur von den Pflanzensäuren zu sagen, einmal weil sie zu den allgemein verbreitetsten Stoffen in der Pflanze gehören, und dann, weil man sie schon einmal einer wichtigen Rolle im Haushalte dieser Organismen gewürdigt hat. Freilich von so ausgedehnter Verbreitung sind sie nur als Gruppe, von keiner einzelnen Säure kann man sagen, daß sie so regel-

mäßig in den Gewächsen angetroffen wird, wie Stärke, Zucker oder der Zellstoff. Und die Verschiedenheit innerhalb der Gruppe, namentlich in Bezug auf den prozentischen Gehalt an Kohlenstoff oder Sauerstoff ist diesmal recht groß. Von einem sehr raschen oder gar wechselseitigen Übergang ineinander kann, abgesehen von besonderen Fällen, kaum die Rede sein. Eine der verbreitetsten, die Kleesäure, welche den Sauerklee des Waldes für die Kinder so anziehend macht und sogar im großen aus diesem Kraute gewonnen werden kann, ist z. B. sehr viel sauerstoffreicher wie die Glieder der Stärkegruppe, andere wie die Weinsäure, die Zitronensäure oder gar die Äpfelsäure, deren Hauptvorkommnisse immer durch den Namen angedeutet sind, stehen jenen weit näher.

47. Durch diese anscheinend wenig regelmäßige Art des Vorkommens und der Verteilung wurde aber die Vorstellung, welche man sich vor einiger Zeit von der Bedeutung dieser kohlenstoffhaltigen Säuren für das Pflanzenleben gemacht hatte, keineswegs verhindert. Nämlich man dachte sie sich, eben wegen ihres verhältnismäßigen Sauerstoffreichtums, als Übergangsstufen zwischen Kohlensäure und Wasser einerseits und Stärkemehl andererseits bei der Erzeugung des letzteren in den grünen Blattorganen.

Der Gründe, warum man von dieser zwar unnötigen, aber ganz plausibeln Vorstellung mehr und mehr zurückgekommen ist, sind mehrere; als der gewichtigste aber wird wohl zu bezeichnen sein: weil die Sauerstoffausscheidung im Sonnenlichte bei Abwesenheit von Kohlensäure gewöhnlich unterbleibt, während dies doch für saure grüne Pflanzenteile eine notwendige Folge der gehegten Anschauung wäre.

Erst neue Untersuchungen haben gezeigt, daß die Fettpflanzen sich in dieser Beziehung anders verhalten und daß bei ihnen dennoch eine Pflanzensäure als Ausgangspunkt der Sauerstoffabscheidung dient. Aber hierdurch wird mit nichten die allgemeine Auffassung von der Bedeutung der Pflanzensäuren geändert. Denn sonst hat man stets beobachtet, daß z. B. in reifenden Früchten, wo die Säuren immer mehr und mehr gegen den Zucker in den Hintergrund treten, und woselbst man also eine derartige Stoffwandlung mutmaßen könnte, für ein Teil verschwindender

Säure oft das 10- bis 20fache an Zucker auftritt, so daß also dieser nicht aus jener entstanden sein kann und offenbar beide Vorgänge gar nichts mit einander zu schaffen haben.

48. Da wir an Stelle dieser irrtümlich angedichteten Aufgabe keine so fundamentale Funktion der Pflanzensäuren kennen, so sind wir heute im allgemeinen sehr geneigt, diese lediglich als Endprodukte des vegetabilischen Stoffwechsels anzusehen, als Substanzen, welche durch unvollständige Verbrennung entstehen, um vielleicht durch eine vollständigere wieder zerstört zu werden. — Ein Nutzen springt daneben freilich in die Augen, nämlich die Mitwirkung der Pflanzensäuren bei der Aufnahme von mineralischen Stoffen aus dem Boden. Von der Bedeutung dieser letzteren wird im 4. Abschnitt die Rede sein. Hier mag aber schon erwähnt werden, daß sie häufig im Boden in wenig löslichem Zustande vorkommen und zum Teil vorkommen müssen, weil sie sonst unfehlbar der Ausspülung unterliegen würden. Da nun die Pflanzensäuren auch in den feinsten Fasern der Wurzeln stark vertreten sind — man braucht dieselben nur zwischen blauem Lackmuspapier zu zerdrücken, um sogleich die für Säuren charakteristische Rötung wahrzunehmen — und diese mit den Erdteilchen durch Verwachsung in die allerinnigste Berührung gebracht werden, so ist es bei der stark lösenden Wirkung der Säuren einleuchtend, daß dadurch der Übergang der Bodennährstoffe sehr erleichtert wird.

Weit hypothetischer hätte unsere Meinungsäußerung in Bezug auf die Bedeutung der übrigen kohlenstoffhaltigen Pflanzenbestandteile lauten müssen, und deswegen hätte es wenig Zweck, auf dieselben einzugehen. Wohl aber haben wir noch weitere Folgerungen aus dem vorhin Dargelegten zu ziehen.

49. Wir haben von den Stoffwandlungen gesprochen, welche bei der Neuanlage von Pflanzenteilen, bei ihrem Ausbau, und dem Anfüllen derselben mit Vorratsstoffen notwendig vollzogen werden müssen. Von einem andern Umstande, welcher bei diesen Vorgängen noch in Rechnung gezogen sein will, haben wir aber geschwiegen. Das Stärkemehl der grünen Zelle oder der Kartoffelknolle ist ein fester Körper, ebenso die Zellwand, welche in einem entlegenen Sproß aus ihm gebildet werden soll. Wie wird das spröde Material an die Orte seiner Verwendung geschafft?

Wie ist ein solcher Transport vollends möglich, wenn die Pflanze in der angeführten Weise durch hunderttausende von Querwänden in lauter äußerst kleine Fächer geteilt ist? Sind in den Zellwänden Löcher angebracht, wie Thüren in einem Hause?

Auf die letzte Frage ist ganz bestimmt zu antworten, daß die Zellen allseitig umschlossen, und daß die Wände für unsere auch durch Mikroskope geschärfte Wahrnehmung völlig dicht sind. Aber, wir wissen ja, daß Häute, die so undurchlässig sind, daß sie eher zerspringen, als daß sie unter einem einseitigen Druck etwas filtrieren ließen, doch unter gewissen Umständen für ganz bestimmte Flüssigkeiten das Gegenteil zeigen. Wir schließen daraus, daß scheinbar dichte Körper, doch sehr kleine Lücken zwischen ihren Teilchen besitzen müssen, welche aber nur für bestimmte Stoffe passierbar sind, so daß die besonderen Eigentümlichkeiten einer Haut dafür in Betracht kommen. — Flüssig aber muß der Stoff jedenfalls sein, der in der Pflanze auf Transport von einem entlegenen Orte zum andern rechnet, da sich hier nicht wie im Tierleibe ein kommunizierendes Gefäßsystem, dessen Inhalt durch mechanische Gewalt vorwärts getrieben wird, findet.

50. Wenn also ein Vorrat von Stärkemehl mittelbar dazu dient, in einer entfernten Gegend der Pflanze neue Zellen zu bilden, so kann das Stärkemehl doch nicht als solches dorthin wandern, sondern dasselbe muß verflüssigt werden und zwar zu einer Flüssigkeit, welche leicht durch Zellhäute hindurchgeht. An sich ist das Stärkemehl nun bekanntlich im Wasser unlöslich, und so ist es notwendig, daß eine chemische Umwandlung mit demselben zu einem Stoffe vorgenommen wird, welcher nun Lösungen giebt, welche die Eigenschaft der Durchgängigkeit in hohem Grade besitzen. Dieser Stoff aber ist offenbar der Zucker, von dessen Verwandlungsfähigkeit in Stärke und aus Stärke wir ja vorhin geredet haben, und der thatsächlich leicht löslich ist, auch leicht durch halbdurchlässige Häute hindurchgeht.

Hauptsächlich aus diesem Grunde, um die Möglichkeit des Stofftransports von den Orten der Erzeugung zu den Orten der Aufspeicherung, von den Orten der Aufspeicherung nach den Orten des Verbrauchs begreifen zu können, haben wir vorhin auf die überall in der Pflanze bestehende Umwandlungsfähigkeit der

einzelnen Glieder der Stärkegruppe in einander so viel Gewicht gelegt. Auch künstlich sind wir wenigstens durch sehr mannigfaltige Mittel im stande, Stärke in Zucker und Zellstoff in jene und dann in Zucker zu verwandeln, während uns die Verwandlung in umgekehrter Reihenfolge noch nicht hat gelingen wollen.

In der Pflanze ist auch dieses leicht möglich, und für sie haben wir uns der Vorstellung hinzugeben, als wenn in dem Safte, der alle Zellen erfüllt, und der als der eigentliche Sitz des Lebens erscheint, Zucker bis zu einem gewissen Grade löslich sei. Tritt eine Übersättigung ein, so kann entweder von ihm durch die Zellwände hindurch an benachbarte Zellen abgegeben werden, oder es findet eine Abscheidung in fester Form statt, aber nun unter den in der Zelle bestehenden eigentümlichen Bedingungen, in der Form von Stärkemehl.

Bei einer solchen Auffassung der Dinge ist es nun auch leicht erklärlich, warum wir auf dem Wanderungswege von Vorratskammern zu austreibenden Sprossen alle zwischenliegende Zellen mit kleinen Stärkekörnchen angefüllt finden. Diese Körnchen wandern nicht selber, sondern sind nur vorübergehende Absonderungen aus dem mit Zucker übersättigten Zellsaft; es sind gleichsam die an den Stationen einer Etappenstraße lagernden kleineren Vorräte, die nur auf eine neue Verladung warten, um ihrem Bestimmungsorte näher geführt zu werden.

Von diesem allgemeineren Gesichtspunkte aus ist es nun auch verständlich, warum man in neuerer Zeit geradezu den Zucker als das Erstlingsprodukt der grünen Zelle auffaßt, obgleich man daselbst in der Regel keine größeren Mengen von diesem Stoffe antrifft. Man kann auch hier die sichtbaren Stärkemehlkörner aus dem zuckerhaltigen Zellsafte sich erst von einem gewissen Sättigungspunkte an ablagernd denken, und so stellt sich auch die Thatsache, daß einzelne Pflanzen zuerst nur Zucker und nicht Stärke aufweisen und es überhaupt in den grünen Organen zu keiner Stärkemehlablagerung bringen, nicht mehr als eine Ausnahme von der Regel dar. Daselbst wäre die mögliche Sättigung des Zellsaftes mit Zucker einfach eine ungewöhnlich hochgradige.

51. Aus der Klarlegung der eben behandelten einfachen Gesetzmäßigkeiten ergeben sich nun auch viele praktische Gesichtspunkte.

Der Gärtner beschneidet seine Gewächse, um den wandernden organischen Stoffen ganz bestimmte Wege anzuweisen. Die grünen Triebe der Rebe werden unter unseren kärglichen klimatischen Verhältnissen gekürzt, um die Neubildung auf Kosten des bereits Produzierten einzuengen, und den mit Zucker beladenen Saft, welcher seinen Weg überall durch vorübergehende Stärkeablagerungen kennzeichnet, in die Früchte zu treiben, welche ihrerseits durch die große Ansammlung von Zucker der Reife dann rasch entgegengehen.

Ganz ähnlich ist die Sachlage beim Tabak, wo der Landwirt durch Entfernen des Mitteltriebes und sodann der Seitentriebe (Geize) die Ausbildung weniger Blätter bis zu einer ungewöhnlichen Größe und Vollkommenheit begünstigt.

52. Auf dieselbe Weise werden uns auch die Augen geöffnet über die merkwürdige Methode des Ringelns bei der Rebe, wodurch sehr frühzeitig reife Trauben erhalten werden können. Dieselbe besteht darin, einige Zeit nach dem Blühen unterhalb der tiefsten Traube in die fruchttragenden Zweige nahe bei einander zwei kreisförmige Einschnitte zu machen, so daß die Rinde an dieser Stelle vollständig abgetrennt wird, während Holz und Mark in Zusammenhang bleibt. Nun muß man beachten, daß das unmittelbar unter der Rinde gelegene Gewebe, wie leicht zu erweisen, an dem Transport des gelösten Zuckers ganz vorzugsweise beteiligt ist, während das noch in seinem Zusammenhang bestehende Holz noch genügt, um den geringelten Zweig von der Wurzel aus mit Wasser zu versorgen. Die Ringelung hat also die Folge, die in den Blättern eines Zweiges erzeugten Stoffe samt und sonders in die dazu gehörigen Trauben zu treiben und sie auf diese Weise rasch an Zucker zu bereichern, während bei dem natürlichen Zusammenhang der Dinge ein Teil dieser Stoffe in die unteren Zweigpartieen abgeflossen wäre, um dort eine Stärkemehleinlagerung des Holzes, welche wir ganz folgerichtig als eine Reife desselben bezeichnen, zu bewirken. Es ist demnach klar, unter welchen Umständen das Ringeln am Platze ist, unter welchen nicht.

53. Als wir vorhin von den tiefer greifenden Stoffumwandlungen sprachen, sahen wir, daß dieselben nicht vor

sich gehen können ohne Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureausgabe. Werden sauerstoffärmere Stoffe verwandelt in sauerstoffreichere, also z. B. beim Auskeimen fetthaltiger Samen, Fette in Zucker oder dieser in Pflanzensäure oder endlich diese in Kohlensäure und Wasser, so muß dabei Sauerstoff aus der umgebenden Luft aufgenommen werden. Kohlensäure entsteht dabei nur, soweit es sich um eine vollständige Verbrennung handelt. Geschieht das Umgekehrte, wie es für den Übergang von Zucker und seiner Verwandten in fette Körper, z. B. bei dem Reifen fetthaltiger Samen, nachgewiesen ist, so kann dies nur geschehen unter Kohlensäureabspaltung, die natürlich von einem gewissen Grade ihrer Erzeugung nach außen abgegeben werden wird. Da solche Umwandlungen jedenfalls in viel mannigfaltigerer Weise, als wir davon Kenntnis haben, unausgesetzt verlaufen, so dürfen wir uns nicht wundern, wenn Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureausgabe bei den Pflanzen an der Tagesordnung ist und um so größere Dimensionen annimmt, je üppiger überhaupt die Vegetationsvorgänge verlaufen.

Eine solche Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureausgabe ist dann in der That auch ganz regelmäßig an allen Pflanzen, so lange sie überhaupt Lebenserscheinungen zeigen, wahrgenommen worden. Man sieht, es ist dies gerade der umgekehrte Gasaustausch wie der, welchen ausschließlich die grünen Pflanzenteile bei starker Beleuchtung unterhalten, und genau der nämliche, wie der, welchen die Tiere in ihren Lungen vollziehen und welcher unter diesen Umständen als Atmung bezeichnet wird. Man hat sich daher auch entschlossen, diesen in der lebenden Pflanze fortwährend verlaufenden Gasaustausch, dessen Gesamteffekt ein Verlust von Kohlenstoff und eine Verbrennung ist, mit dem Namen Atmung zu belegen, während man früher aus einem sehr äußerlichen Gesichtspunkte den Gasaustausch in der grünen Zelle, welcher ja eine Produktion darstellt, so benannte.

Also während die grünen Pflanzen verbrennliche Stoffe erzeugen und in sich niederlegen, konsumieren sie auch fortwährend solche, und mit dieser Einsicht ist es erst recht begreiflich, warum grüne vom Licht abgeschlossene Pflanzen nicht bloß nicht zunehmen an Masse, sondern in einem wahren Hungerzustande sich

befinden. Weil diese zehrenden Atmungsvorgänge notwendig vollzogen werden müssen, deshalb bedeutet jeder Stillstand in der Produktion in Wahrheit einen Rückschritt.

54. Zugleich ist klar, daß der Kohlenstofferwerb in den grünen Teilen unter Einfluß des Lichtes mit viel größerer Raschheit erfolgen muß als der Kohlenstoffverzehr bei der Atmung; denn sonst würde ein Teil der Pflanze nicht im stande sein, in einem Bruchteil des Tages so viel verbrennliche Masse zu schaffen, als von der ganzen Pflanze für den ganzen Tag in Anspruch genommen wird, und es könnte vollends nicht noch ein sehr erheblicher Rest übrig bleiben, von welchen u. a. die ganze Welt der Tiere und schmarotzenden Pflanzen zu zehren berufen ist.

Wirklich ist auch dieser Sachverhalt durch Beobachtung des Gasgehalts einer die Pflanze umgebenden abgeschlossenen Atmosphäre leicht festzustellen. Schon wenige Stunden Beleuchtung während des Tages genügen, um eine grüne Pflanze im Gleichgewicht ihrer verbrennlichen Masse zu erhalten.

55. Diese Pflanzenatmung erfolgt nun am rascheſten in sich entwickelnden und rasch wachsenden Pflanzenteilen, sie erlischt im ruhenden Samen und im winterlich dürren Zweige. Sie ist außerdem abhängig von dem Wärmegrad: Bei null ist sie beinahe null, und sie steigt dann beim Erwärmen ziemlich gleichmäßig mit der Thermometerskale bis nahe an den Abtötungspunkt des betreffenden Pflanzenteils. Dies ist ein sehr abweichendes Verhalten von der Atmung des höheren warmblutigen Tieres, welche bei steigender Wärme der Umgebung geradezu abnimmt.

56. Aber die tierische Atmung dient auch als eine sehr mächtige Verbrennungserscheinung als Quelle der Wärmeerzeugung, um den Tierkörper auf seiner normalen Eigenwärme zu erhalten, und die Gefahr diese zu verlieren ist natürlich in der Kälte am größten; daher der Nutzen dieser regulatorischen Einrichtung.

Die Pflanze ist verhältnismäßig sehr unempfindlich gegen die Temperaturschwankungen ihres eigenen Leibes; sie bedarf als ein einfacherer Organismus nicht einer stetigen Eigenwärme, und der Vorgang der Atmung hat für sie nicht die Bedeutung einer Wärmquelle, obwohl auch gelegentlich eine gesteigerte Eigenwärme infolge ungewöhnlich energisch verlaufender Atmungsvorgänge be-

obachtet werden kann. So wenn man viele Pflanzen im Keimungsstadium aufeinanderhäuft, wie dies bei der Malzbereitung ja geschieht. Es ist leicht, eine Temperatursteigerung im Innern eines solchen Haufens nachzuweisen.

Noch auffallender ist diese Erscheinung bei den Blütenkolben der Aroïdeen, während sehr rasch verlaufende geschlechtliche Vorgänge sich in ihnen vollziehen. Temperatursteigerungen bis zu 10° C, also leicht durch das Gefühl nachzuweisen, sind dort nichts Seltenes. Aber es ist nicht anzunehmen, daß diese selbst erzeugte Wärme den Pflanzen irgendwie zu gute komme; denn da die Atmungsvorgänge durch hohe Temperaturen sich steigern, so haben wir es mit einer Wärmequelle zu thun, welche bei äußerer großer Wärme am reichlichsten fließt, also gerade da, wo sie entbehrt werden könnte, in der Kälte aber verschlossen bleibt, wo die Gewächse für eine Temperatursteigerung am dankbarsten wären.

Die Steigerung der Atmung durch die Temperatur zeigt so recht, wie die meisten chemischen Vorgänge im Innern der Pflanze von der Wärme begünstigt werden. Dies gilt z. B. auch für das Wachstum, welches mit der Atmung in einem so nahen Zusammenhang steht. Natürlich wirkt die Temperatursteigerung nur bis zu einem gewissen Punkte günstig, der aber, wenigstens für unsere klimatischen Verhältnisse, meistens jenseits von den beim Pflanzenbau praktisch erreichten Temperaturen liegt, so daß diese Einschränkung eben in der Praxis wenig Bedeutung besitzt.

57. Aus dem Bestehen einer Pflanzenatmung, die unausgesetzt in Thätigkeit ist, und in den grünen Gewächsen namentlich des Nachts in den Vordergrund tritt, um gleich Penelope das bei Tag Gewirkte wieder zu lösen, lassen sich auch im Interesse der Landwirtschaft und Technik einige Folgerungen ziehen. Schon der Satz, daß beim Pflanzenbau wie in der menschlichen Kultur der Stillstand einen Rückschritt bedeutet, erscheint für die mannigfaltigsten Verhältnisse beherzigenswert.

Die unausgesetzte Thätigkeit von Verbrennungsprozessen in der Pflanze macht uns begreiflich, warum aus Gerste niemals Malz bereitet werden kann, ohne einen ansehnlichen Stoffverlust, der eben aus den Verbrennungserscheinungen des jungen Keimlings abgeleitet werden muß. Ebenso verstehen wir aus diesem

Gesichtspunkte, warum die Kartoffeln beim Auskeimen im Frühjahr an Nährwert verlieren, was sich mit nichten allein aus dem Übergang der Stärke in die jungen Schosse erklären läßt.

Der umsichtige Wirt wird diese unvermeidlichen Verluste nach Kräften einzuschränken suchen; denn unvermeidlich ist auch der letztere, da Kartoffeln wie Rüben lebende Organismen sind, in welchen sich fortwährend, wenn auch sehr unmerklich Verbrennungserscheinungen abwickeln. Temperaturen, welche diese verhindern, wie null Grad und darunter, würden die Gefahr des Erfrierens mit sich bringen, und so wäre es am besten, solche Wurzeln und Knollen nahe an null, nur wenig darüber zu erhalten und für möglichst geringe Temperaturschwankungen Sorge zu tragen.

58. Und auch noch auf eine andere Seite dieser Konservierungsvorrichtungen von Wurzeln und Knollen werden wir hier aufmerksam gemacht. Wo geatmet werden soll, muß auch Atemluft vorhanden sein. Wir müssen dafür Sorge tragen, daß der Sauerstoff in der Umgebung lagernder Wurzelfrüchte nicht aufgebraucht wird, also z. B. in großen Rübengräbern, namentlich aber für die viel stärker atmenden Zwiebeln für eine genügende Ventilation, die doch wieder nicht so stark sein darf, um im kalten Winter das Erfrieren zu befördern.

Ganz anders gestalten sich unsere Maßregeln bei lagernden Samen — Organe, welche bei ihrer Bildung beinahe völlig auszutrocknen pflegen, und in welchen sich dementsprechend alle Lebenserscheinungen zunächst völlig einstellen. In diesem todähnlichen Zustande besteht keine Gefahr des Erfrierens noch des Erstickens, und wir haben hier nur für das Abhalten von Feuchtigkeit Sorge zu tragen, durch welche die scheintoten Gewächse zu einem unzeitigen Leben erweckt werden würden.

Noch wichtigere Folgerungen können aus dem Bestehen einer Atmung in allen Organen für den Ackerbau selber gezogen werden. Nämlich in allen Fällen muß doch Sorge getragen werden, daß auch die in den Boden tauchende Wurzel noch Sauerstoff vorfindet, um diesen wichtigen Prozeß zu vollziehen. Ist aber der Boden mit Wasser durchtränkt, und werden daselbst die Spuren vorhandener Lebensluft zu andern Vorgängen, z. B. zur Verwesung sich zersetzender Stoffe, in Anspruch genommen, so ist

diese Bedingung nicht erfüllt. Daher in einem Sumpfboden nur Gewächse fortkommen, die entweder nur schwach atmen und in Übereinstimmnng hiermit ein wenig energisches Leben und einen geringen Nährstoffgehalt besitzen — oder mit ganz besondern Vorkehrungen zu einer solchen Lebensweise ausgerüstet sind, wie z. B. die Riedgräser mit großen luftführenden Gefäßen innerhalb der Wurzeln, wodurch von innen heraus eine Atmung ermöglicht ist. Die meisten Kulturpflanzen bedürfen aber aus diesem wie auch noch aus andern Gründen einer gut durchlüfteten Krume.

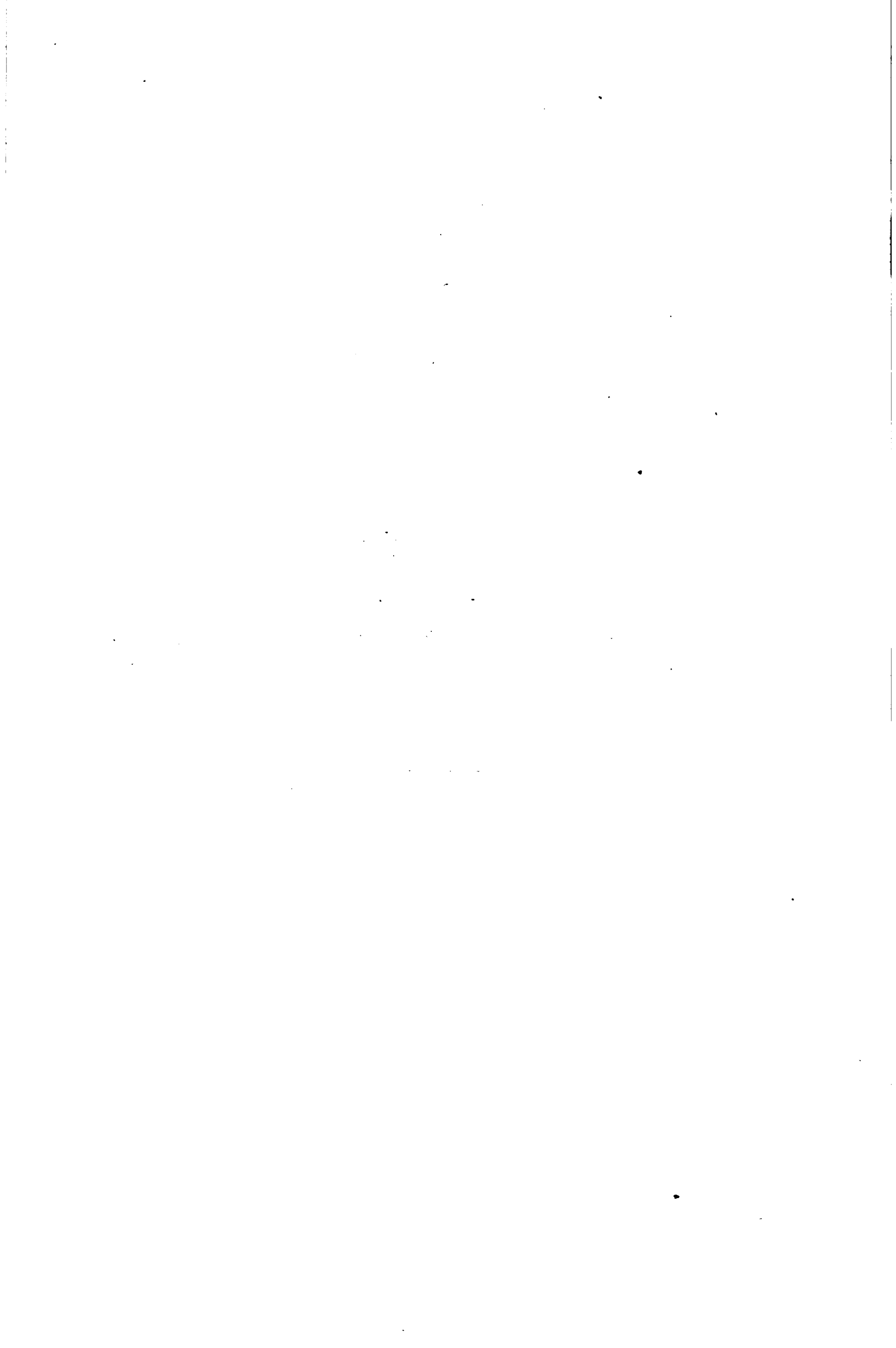
59. Auch haben wir an das Bestehen einer Pflanzenatmung ganz im Sinne wie die tierische zu denken, wenn von dem luftverbessernden Einflusse der Pflanzen die Rede ist, und man aus diesem Grunde empfiehlt, solche in den menschlichen Wohnungen aufzustellen. Schon am Tage kann unter den dürftigen Lichtverhältnissen unserer mit Gardinen verschleierten Zimmer von einer die Atmung sehr wesentlich übersteigenden Sauerstoffausgabe kaum die Rede sein, — daher die langsame Zunahme, die unnatürliche Längsstreckung der meisten Zimmerpflanzen, wenn wir ihnen nicht Monate hindurch einen Aufenthalt im Freien gönnen. Eine Ausnahme hiervon machen allerdings die sog. Schattenpflanzen, für welche denn auch eine sehr geringe Atmung geradezu charakteristisch ist. Aber da diese überhaupt nur einen schwächlichen Stoffwechsel unterhalten, so wird auch ihre Sauerstoffausscheidung nur gering sein. Und in der Nacht natürlich bereichern sie die Luft an Kohlensäure, sie sind ebenbürtige Mitkonkurrenten um das bißchen gute Luft in unseren Räumen. Wenn überhaupt in der Pflanzenkultur in Zimmern ein günstiges Moment für die menschliche Gesundheit liegt, woran wohl einiger Zweifel erlaubt sein darf angesichts der sich häufenden Fälle, daß man den Ursprung von wechselfieberartigen Zuständen in dem feuchten Boden der Töpfe fand, so ist es eher in einer wohlthätigen Bereicherung der Luft an Wasserdampf zu suchen, da die Pflanzen gerade bei trockener Luft viel Wasser durch ihre Blätter verdunsten.

Der luftverbessernde Einfluß der Pflanzenwelt kommt erst in der freien Natur und namentlich im grünen Walde zur vollen Geltung.

---

3. Abschnitt.

Die stickstoffhaltigen Bestandteile der Pflanzen.



60. Keine Darlegung einer komplizierten Erscheinung der Natur oder auch des Menschenlebens ist möglich, ohne daß man vorübergehend von einzelnen Seiten des Vorgangs absieht, die freilich deshalb gerade so wesentlich sein können, als die zunächst ins Auge gefaßten. Diese Methode ist einfach eine notwendige Folge der Beschränktheit des menschlichen Geistes, der eine wirkliche Bewegung nur zu verstehen vermeint, wenn er ihre Komponenten für sich betrachtet und daraus die Resultante ableitet. Dieselbe ist auch niemals ein Schaden, wenn der analysierende Verstand sich dieser Voraussetzung bewußt bleibt, und nur für die erdichtete Vereinfachung seine Folgerungen zieht.

Eines ganz ähnlichen und darum auch aus den gleichen Gesichtspunkten entschuldbaren Kunstgriffs haben wir uns in der bisherigen Darstellung bedient, indem wir dergleichen thaten, als ob Pflanzen bestehen könnten nur aus Wasser und verbrennlicher Substanz, die letztere zusammengesetzt aus den drei Grundstoffen: Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. Thatsächlich ist nun niemals eine Pflanze vorgefunden worden, die lediglich aus diesen wenigen Elementen bestanden hätte, und nicht, als ob dies die Folge einer zufälligen Verunreinigung sein könnte, man hat nachzuweisen vermocht, daß eine jede Pflanze bei Vorenthaltung aller anderen Nahrung zu Grunde geht.

61. Zunächst wollen wir einen weitern der noch unentbehrlichen Grundstoffe herausgreifen, nicht den wichtigsten — denn alles was unentbehrlich ist, ist natürlich gleich wichtig — aber den der Masse seines Vorkommens nach hervorragendsten, den Stickstoff. Unter den kohlenhaltigen Stoffen, welche einer jeden Pflanze unentbehrlich sind, finden sich nämlich in Wahr-

heit nicht bloß solche, die wie das Stärkemehl, der Zellstoff, der Zucker, das Fett, aus drei Grundstoffen aufgebaut sind, sondern auch Quadrupelallianzen; und der Stickstoff, an sich eine harmlose Luftart, aus der unsere Erdatmosphäre zu vier Fünfteilen besteht, ist der vierte im Bunde.

62. Die Gruppe der stickstoffhaltigen Stoffe, welche eine so allgemeine Rolle in der Pflanze spielt wie nur immer die Stärkegruppe, und um derentwillen keine Pflanze dieses Grundstoffes entraten kann, umfaßt die Eiweißkörper — so genannt, weil der gelöste Bestandteil des Weißen vom Ei als Muster für die ganze Gruppe gelten kann. Insbesondere finden wir solche eiweißartige Stoffe in größeren Mengen in einer jeden Pflanzenzelle, von welcher irgend welche erheblichen Lebenserscheinungen ausgehen, also namentlich wenn sie wächst und durch Einschiebung von neuen Querwänden sich teilt.

Noch verbreiteter und mit vielseitigeren Verrichtungen betraut sind die Eiweißstoffe im Tierreich, wo selbst die Zellwandungen aus ihnen gebildet werden, so daß ganze große Organe wie z. B. das Muskelfleisch beinahe ausschließlich aus diesen Stoffen bestehen. Aber die Tiere, unfähig selbst Eiweißkörper zu erzeugen, beziehen dieselben aus dem Pflanzenreiche und bewirken nur durch Ansammlung derselben eine verhältnismäßige Bereicherung in ihrem eigenen Leibe.

63. Die Eiweißstoffe der Pflanze werden auch ebenso wie die unentbehrlichen stickstofffreien Stoffe in Vorratskammern auf Lager gelegt, um einer kommenden Entwickelung zur unentbehrlichen Nahrung zu dienen. Der Kleber und ähnliche Stoffe, die, da sie im gewöhnlichen Leben unbekannt sind, nur mit fremdklingenden Wörtern bezeichnet werden, unserer Getreidesamen sind solche auf Lager gelegte Eiweißstoffe, welche sich neben dem stickstofffreien Stärkemehl in dem Gewebe vorfinden. In prozentisch noch größeren Mengen und mit ähnlichen Eigenschaften begabt wie der Käsestoff der Milch treten die Eiweißstoffe in den Samen der Hülsenfrüchte auf, daher Erbsen, Bohnen und Linsen sich ihrer Zusammensetzung nach schon erheblich den animalischen Nahrungsmitteln nähern. Mehr zurücktretend sind die Eiweißstoffe in den Vorratskammern der mehr-

jährigen Gewächse, im Holze und in den unterirdischen Organen, woselbst die stickstofffreien Bestandteile durchgängig sehr das Übergewicht behalten.

64. Es fragt sich, auf welche Weise werden diese wichtigen Eiweißstoffe in der Pflanze erzeugt? —

Der zuerst beschriebene Vorgang der Bildung von verbrennlichen Stoffen in den grünen Pflanzenteilen kann unmöglich auch die neue Stoffklasse umfassen; denn jener kennt als Rohmaterial nur Kohlensäure und Wasser, also kein stickstoffhaltiges Material. Es fragt sich also zunächst: In welcher Form tritt der neue Grundstoff, welcher den Eiweißstoffen eigentümlich ist, in die organische Substanz ein? —

Die Methode, eine solche Frage versuchsweise zu erörtern, ist ohne weiteres vorgezeichnet. Man stellt einer Pflanze, deren Gehalt an Eiweißstoffen man genau kennt, nur Stickstoff in Form eines einzigen chemischen Körpers, oder, wie wir uns kürzer ausdrücken, in einer einzigen chemischen Form zur Verfügung und sucht zu entscheiden, ob unter diesen Umständen eine Vermehrung jener Eiweißstoffe eintritt. Läßt sich dies feststellen, so ist die Frage bejahend entschieden. — Aber, wie den Eiweißgehalt eines Gewächses zu Beginn eines derartigen Versuchs bestimmen, wo ich dasselbe keiner chemischen Behandlung unterwerfen darf? — Es geschieht dies durch chemische Zerlegung gleichartiger Pflanzen, aus deren durchschnittlichem Gehalt an irgend welchen Stoffen ich einen Rückschluß machen darf auf den Gehalt einer weiteren fortwachsenden Pflanze. Um den immer noch möglichen Fehler dieser Beurteilung in thunlichst enge Grenzen einzuschließen geht man am zweckmäßigsten von den Samen aus, die ja äußerst gleichmäßig gebildet sind, und wo ich nach der Untersuchung eines Dutzend genau sagen kann: in dem ausgelegten Samen war höchstens z. B. ein Zehntel Gramm Eiweiß vorhanden.

Sodann zur Methode der Kultur selber. — Unsere gewöhnlichen Landpflanzen sind mittelst ihrer untern Organe, der Wurzel mit einer wässrigen Bodenflüssigkeit in Berührung; mit ihren Laubblättern und Stengelteilen ragen sie in die gasförmige Atmosphäre. Eine Stoffaufnahme ist daher auf zweierlei Weise möglich: entweder aus dem tropfbar flüssigen Medium der Bodenfeuchtig-

keit oder aus der Luft. Beide Quellen der Ernährung müssen bei einem genauen Versuche kontrolliert werden.

Die Bodenfeuchtigkeit einer gewöhnlichen Ackererde enthält nun ausnahmslos stickstoffhaltige Bestandteile verschiedener Art. Ebenso enthält die gewöhnliche atmosphärische Luft neben den enormen Mengen unverbundenen Stickstoffs kleine Beimengungen von Stickstoffverbindungen. Infolge des ersteren Umstands muß bei einem scharf kontrollierbaren Ernährungsversuche die natürliche Acker- oder Gartenerde durch ein künstliches stickstofffreies Gemisch ersetzt werden, dem man nach Belieben einzelne auf ihre Nährfähigkeit zu prüfende Stickstoffverbindungen zusetzt. Um den andern Umstand zu berücksichtigen, muß die gewöhnliche Luft von den darin enthaltenen Spuren von Stickstoffverbindungen gereinigt werden.

Es genügt, eine Ackererde scharf auszuglühen, um sie ihres Stickstoffgehalts zu berauben, da die daselbst vorkommenden Verbindungen dieses Elementes entweder verbrennlich oder sonst in der Hitze flüchtig sind. An der Stelle von ausgeglühter Erde bedient man sich auch reinen Quarzsandes oder reiner mineralischer und stickstofffreier Gemische. Ja in neuerer Zeit ist es selbst gelungen, die meisten Pflanzen in wässrigen Lösungen, denen man natürlich Beliebiges einverleiben und vorenthalten kann, normal und sogar üppig zu erziehen, die Landpflanzen also gleichsam zu Wasserpflanzen zu machen.

65. Um die Luft in der Umgebung der Pflanze von den unwillkommenen Beimengungen zu reinigen, muß diese in einem abgeschlossenen Raume, und, um das Licht nicht gleichzeitig mit abzuschließen, unter Glasglocken kultiviert werden. Neu hinzutretende Luft muß dann durch ein Waschverfahren von jenen Beimischungen befreit werden. Auf eine solche Weise kann zunächst die Frage entschieden werden, ob der freie atmosphärische Stickstoff für die Pflanze zum Aufbau der Eiweißstoffe verwertbar ist.

Die Beantwortung dieser Frage hat sehr lange Zeit in Anspruch genommen, wobei zum Teil der Umstand eine Verzögerung veranlaßte, daß man sich von Anfang der Vernnreinigung der atmospärischen Luft und des zum Begießen der Pflanzen benutzten Wassers durch Stickstoffverbindungen nicht hinreichend bewußt

war. Schließlich gelangte man aber dahin, wenn man die Pflanze in einem rein mineralischen Nährboden kultivierte, und ebenso für Reinheit der umgebenden Luft Sorge trug, keinen Stickstoffzuwachs in den schließlich gernteten Pflanzen nachweisen zu können, und dementsprechend natürlich auch das Gesamtwachstum äußerst beschränkt zu sehen, da die Zunahme der für die Vegetation so wichtigen Eiweißstoffe abgeschnitten war. Der Schluß aus diesem vielfach bestätigten Versuchsresultat heißt natürlich, der freie Stickstoff dient nicht zur Pflanzenernährung. Wenigstens ist dies für die gewöhnliche Lebensweise der höheren grünen Pflanze nicht der Fall. Eine scheinbare und praktisch äußerst wichtige Ausnahme, welche wir weiter unten kennen lernen werden, beruht auf der abweichenden Stickstoffernährung von äußerst kleinen Lebewesen, welche sich in den Wurzeln mancher höheren Pflanzen festzusetzen pflegen und ihnen Anteil geben an der Verarbeitung des freien Stickstoffs des Dunstkreises.

66. Das eben formulierte allgemeine Resultat hat an sich nichts Wunderbares. Auch nicht der freie Kohlenstoff, z. B. gewöhnliche Holzkohle, und ebensowenig der freie Wasserstoff sind verwertbare Pflanzennahrung, sondern dieselben müssen in Verbindungen, und zwar ganz bestimmten Verbindungen, als Kohlensäure und Wasser, geboten sein, um die Pflanze mit diesen Grundstoffen zu versorgen. Nur von dem Standpunkte einer engherzigen Zweckmäßigkeitslehre erschien das Ergebnis befremdlich; denn zu was sollten die großen Massen von Stickstoff in der Luft dienen, wenn sie für das organische Leben unverwertbar waren?

67. Zu der verneinenden Beantwortung mußte jetzt aber auch eine bejahende gesucht werden, und man sieht leicht, wie die nämliche Methode hierfür den Ausgangspunkt bietet. Man brauchte nur den Versuch in ganz gleicher Weise zu wiederholen, und dabei den Boden oder die diesen ersetzenden wässrige Flüssigkeit mit ganz bestimmten Stickstoffverbindungen zu versetzen, und dann ebenso wie früher auf einen Zuwachs an Eiweißstoffen und auf eine mehr oder minder üppige Entwickelung der Versuchspflanze zu achten, um die Frage für eine Stickstoffverbindung nach der andern der Erledigung entgegenzuführen.

Für zwei stickstoffhaltige Stoffe waren diese Versuche ganz

allgemein von einem positiven Ergebnisse gefolgt, für **Ammoniak** und **Salpetersäure**, oder genauer für deren salzartige Verbindungen. Davon haben sich die salpetersauren Salze, also z. B. der gewöhnliche Kalisalpeter, der vorwiegende Bestandteil unseres Schießpulvers, als die bestwirkenden stickstoffhaltigen Nahrungsmittel der höheren Pflanze erwiesen. Die Salpetersäure ist nun eine Verbindung des Stickstoffs mit Sauerstoff und zwar unter den verschiedenen Sauerstoffverbindungen des Stickstoffs die sauerstoffreichste. — Das verdient bemerkt zu werden; denn auch die andern Pflanzennährstoffe, Kohlensäure und Wasser sind sehr sauerstoffreich, ja mit einer unwesentlichen Einschränkung die sauerstoffreichsten Verbindungen ihrer Grundstoffe, so daß sich eine allgemeinere Regel für die Beschaffenheit der Pflanzennahrung ergiebt, für welche wir später auch noch weitere Bestätigungen vorfinden werden.

Eine Ausnahme von dieser Regel bildet allerdings die Ernährungsfähigkeit der Gewächse durch Ammoniak, einer Verbindung des Stickstoffs mit dem Wasserstoff, für welche ebenso mit vollkommener Sicherheit, wenn auch mit minder großer Eleganz der gleiche Beweis erbracht ist. Jedermann hat eine zutreffende Vorstellung von den Eigenschaften dieses Körpers aus der Bekanntschaft mit dem Hirschhornsalz oder Riechsalz, oder auch durch den unangenehm stechenden Geruch selten gereinigter Aborte. Die ätzenden Wirkungen dieses Stoffes, welche auch den Pflanzen verderbenbringend sein würden, verschwinden bei großer Verdünnung oder durch Zumischung von Säuren, und natürlich kann nur unter Beachtung dieser Umstände von einer wohlthätigen Wirkung auf die Vegetation die Rede sein.

68. Ammoniak und salpetersaure Salze sind nun in freilich sehr geringer Menge regelmäßige Bestandteile unseres Dunstkreises, sowie der aus diesem herabfallenden Niederschläge, so daß sich auf diese Weise erklärt, wie Pflanzen, im Quarzsande oder ausgeglühten Boden kultiviert, dennoch ganz kleine Zuwächse an Eiweißstoffen aufweisen können, solange man nicht für Reinigung von Luft und Wasser Sorge trägt. Es handelt sich hier freilich nur um Milliontel und noch geringere Bruchteile, und dementsprechend ist der unter solchen Umständen mögliche Erwerb an

Eiweiß sehr geringfügig. Von dem Erziehen von normalen Pflanzen kann bei dieser Hungerkost entfernt nicht die Rede sein.

Dies ist, wie man sieht, der praktische Gesichtspunkt von der Sache. Die atmosphärischen Quellen für die Stickstoffnahrung der Gewächse sind zwar an allen Orten unleugbar vorhanden, und überall ist für sie die Gelegenheit da, sowohl gelegentlich das in der Luft vorkommende flüchtige Ammoniak durch die oberirdischen Stengel- und Lauborgane in ihr Inneres überzuführen und für ihre Zwecke zu verarbeiten, als auch andererseits und hauptsächlich, die mit dem Regenwasser herabgewaschenen Ammoniak- und Salpetersäureverbindungen mit Hilfe der Wurzeln an sich zu reißen. — Allein diese Quelle fließt so spärlich, daß unter allen Umständen noch ein viel größerer Vorrat an passenden Stickstoffverbindungen in dem Nährboden vorhanden sein muß, damit die Pflanzen irgend eine erhebliche oder gar landwirtschaftlich lohnende Entwickelung zeigen.

In dem vom Menschen unberührten Naturzustande, z. B. in einem Urwalde ist dieses Verhältnis dadurch geboten, daß dort immer eine Pflanzengeneration auf den Resten einer früheren zu Grunde gegangenen erwächst. Diese verfällt mit den durch Jahre und Jahrzehnte in ihr aufgespeicherten Eiweißstoffen der Verwesung, und die vorzüglichsten Verwesungsprodukte stickstoffhaltiger organischer Substanzen sind eben neben Wasser und Kohlensäure: Ammoniak und Salpetersäure. Es ist also leicht verständlich, wie bei dem natürlichen Lauf der Dinge mit der Vollendung eines geschlossenen Kreislaufes immer wieder die Bedingungen zu einer üppigsten Vegetationsentfaltung gegeben sind.

69. Anders verhält es sich, wenn der Mensch mit willkürlicher Hand in diese natürliche Ordnung der Dinge eingreift und regelmäßig Ernte auf Ernte entnimmt. Er versetzt die Pflanze dadurch in den ungünstigen Zustand einer Neubesiedelung eines vormals rein mineralischen Terrains, z. B. eines verwitterten Lavastroms, wo auch nicht gleich eine üppige Vegetation gedeiht, sondern wo anfangs die Pioniere des Pflanzenreichs, die Flechten ein kümmerliches Daseiu fristen, bis endlich durch Häufung von Pflanzenresten auf Pflanzenresten eine Art Ackerkrume, bewohnbar auch für anspruchsvollere Gewächse Entstehung nimmt.

Der Willkür einer Aberntung des auf einer Fläche Produzierten muß deshalb mit seltenen Ausnahmen ein anderer willkürlicher Akt folgen, welcher zunächst in einer ebenso regelmäßigen Wiedererstattung des Stickstoffs bestehen wird, soll das Verfahren anders eines vernunftbegabten Wesens würdig sein und nicht auf einen bloßen Raub hinauslaufen. — Wir stoßen hier also zum erstenmal in unsern Betrachtungen auf die wirtschaftliche Maßregel der Düngung als einer notwendigen Folge der regelmäßigen Entnahme einer Ernte, soweit es sich wenigstens um eine sehr langdauernde und rationelle Pflanzenkultur auf derselben Bodenfläche handelt. Freilich sind damit noch nicht alle Gründe für diese landwirtschaftliche Maßregel aufgezählt.

70. An die Frage nach der Form der Aufnahme des Stickstoffs in die Pflanze knüpft sich die andere an: nach der Verarbeitung des Ammoniaks und der Salpetersäure zu Eiweißstoffen. Wo geschieht dies und wie geschieht dies? d. h. welche Gewebeteile haben die Befähigung, aus gegebenen Stickstoffverbindungen und gegebener stickstofffreier organischer Substanz die Eiweißstoffe zu erzeugen, und welche Vorgänge müssen dabei stattfinden? —

Auf diese Frage können wir nur teilweise eine ganz bestimmte Antwort erteilen. Mit aller Bestimmtheit wissen wir zwar, daß es nicht der grünen Zelle bedarf, um mit Hilfe des stickstoffhaltigen Rohmaterials die Eiweißstoffe zu bilden. Deren Erzeugung stellt daher keine Neubildung von verbrennlichen Stoffen dar; sondern es handelt sich offenbar um eine Umwandlung vordem erzeugter stickstofffreier organischer Stoffe, vielleicht des Zuckers unter Zutritt der Elemente der Salpetersäure oder des Ammoniaks, zu Eiweißverbindungen.

Am klarsten ist dieser Sachverhalt geworden bei der Ernährung einiger Pilze, z. B. der allgemein bekannten Schimmelbildungen oder auch der Bierhefe, denen die grünen Organe fehlen und welche ganz im Dunkeln ihren Lebenslauf zu vollenden vermögen. Für diese genügt es, lediglich einen einzigen stickstofffreien organischen Stoff, in der Regel Zucker, zu verabreichen, den Stickstoff aber in der Form von Ammoniak oder auch (beim Schimmel) von Salpetersäure. Da diese niedrigen Bildungen aber gleichwohl Eiweißstoffe in sich enthalten, und bei üppiger Er-

nährung diese auch in sich vermehren, so ist mit dieser Thatsache natürlich der Nachweis erbracht, daß auch in nicht-grünen Zellen, welche auf Kosten von bereits vorgebildeter organischer Substanz ihr Leben fristen, die Eiweißstoffe aufgebaut werden können, und zwar aus Zucker einerseits und andererseits aus Ammoniak oder Salpetersäure.

Übertragen wir diesen Schluß auf die höheren grünen Gewächse, so haben wir zunächst keinen Grund, den nicht grünen Gewebeteilen daselbst eine gleiche Befähigung abzusprechen. Allein auch für die grünen Teile dürfen wir uns nicht ablehnend verhalten, da nachweislich auch einzellige grüne Algen ausschließlich von unorganischem Nährmaterial zehren, folglich auch eiweißerzeugend sind. — Kurz eine positive Bestimmung des Sitzes der Eiweißerzeugung geht aus diesen Thatsachen nicht hervor, und wir wollen eine solche hier auch nicht auf Grund von andern Anhaltspunkten versuchen. Da die stickstoffhaltigen Nährstoffe von der höhern Pflanze naturgemäß durch die Wurzel aufgenommen werden, so liegt es nahe, auch die Eiweißerzeugung schon in die Wurzel zu verlegen, um so der Pflanze einen unnötigen Stofftransport zu ersparen. Aber auch wenn man die Pflanze künstlich durch ihre Lauborgane mit Ammoniak versorgt, so scheint der Verarbeitung dieses stickstoffhaltigen Rohmaterials zu Eiweiß nichts im Wege zu stehen.

71. Was nun die andere Frage nach dem „wie“ der Verarbeitung angeht, so muß auf die relative Zusammensetzung der Eiweißstoffe aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff hingedeutet werden. Daß an Stickstoff nahe 17 % in den verschiedenen eiweißartigen Substanzen vorhanden ist, thut hier weniger zur Sache, wohl aber das Verhältnis der drei übrigen Grundstoffe zu einander. In Bezug auf diese genügt zu bemerken, daß das Eiweiß, stickstofffrei gedacht, zwischen die Stärkegruppe und die Fette zu stehen käme, d. h. daß es sauerstoffärmer als die erstere, sauerstoffreicher als die letzteren ist. Lassen wir es also aus dem Zucker unter Hinzutritt von der entsprechenden Menge Salpetersäure entstehen, so muß eine Entfernung von Sauerstoff bewirkt werden, und da es sich um einen Vorgang ohne Mitwirkung einer äußeren Kraftquelle wie des Lichtes handelt,

so fällt der Vorgang unter dieselbe Kategorie, wie die Bildung von Fetten aus Kohlenhydraten; d. h. es wird sich aller Wahrscheinlichkeit nach um eine Abspaltung von Kohlensäure handeln. Ich mache diese Folgerung ausdrücklich namhaft, weil dieselbe nachträglich eine experimentelle Bestätigung erfahren hat. Tränkt man nämlich Erbsenkeimlinge mit Salpeterlösung, so kann man gleichzeitig mit der Verarbeitung der Salpetersäure eine ungewöhnlich gesteigerte Kohlensäureausscheidung wahrnehmen.

Außerdem bekommt man bei Berücksichtigung dieser Folgerung eine bessere Einsicht in den Ursprung und die Bedeutung der Atmung.

72. Nachdem wir im vorigen den allgemeinen Zustand der Dinge, wie er für die Stickstoffaufnahme durch die Welt der höheren Pflanzen besteht, dargestellt haben, ist es nunmehr an der Zeit der schon vorhin berührten Ausnahme zu gedenken, die, obgleich nicht für einige grüne Pflanzen an sich und obgleich nur für eine sehr beschränkte Zahl derselben geltend, doch als von großer praktisch landwirtschaftlicher Bedeutung bezeichnet werden durfte.

Die Thatsache, auf welche ich hinziele, ist erst im Jahre 1886 durch den Versuchsstationsvorsteher, Hermann Hellriegel wissenschaftlich festgestellt worden, obwohl zuvor schon einige Dinge (die eigentümliche Stellung des Schmetterlingsblütigen in der Fruchtfolge, die Bezeichnung derselben als bodenbereichernde Gewächse), die sich jetzt als Folgerungen aus dem wichtigen Funde darstellen, in der landwirtschaftlichen Praxis bekannt aber natürlich unter diesen Umständen unvollkommen ausgebeutet waren. Kurz, wenn auch nicht ganz nicht streng wissenschaftlich kann als diese Thatsache genannt werden, die Aufnahme und praktische Verwertung des freien Stickstoff des Dunstkreises durch die Familie der schmetterlingsblütigen Pflanzen.

73. Genauer läßt sich diese Thatsache auf ein Zusammenleben der Wurzeln der meisten Schmetterlingsblütigen mit ganz niedrigen Lebewesen, einer Gruppe der Spaltpilze oder Bakterien zurückführen, welchen unsichtbar kleinen, nur mit den besten Vergrößerungsgläsern zu erspähenden Formen ja überhaupt in unserer Zeit so viele erstaunliche Wirkungen, zumeist zwar im Gebiete der ansteckenden Krankheiten, zugeschrieben werden mußten.

Unter Zusammenleben ist hierbei zu verstehen eine Kompagnieschaft von zwei an und für sich nicht zusammengehörigen Wesen zum beiderseitigen Vorteil ganz nach dem Vorbilde der Fabel vom Blinden und Lahmen, wobei der erstere dem letzteren dadurch, daß er ihn auf den Rücken nimmt, gleichsam seine gesunden Beine leiht, aber dafür zum Ersatz durch dessen Augen im Laufen regiert wird.

Solche Kompagnieschaften wurden in den letzten Jahrzehnten viele durch das ganze organische Reich aufgefunden, seitdem der Blick der Naturforscher in dieser Beziehung durch die mustergiltigen Beobachtungen von Charles Darwin geschärft worden und unter dem Einflusse derselben alte Vorurteile hinweggeschmolzen waren. Eine solche Kompagnieschaft bilden auch die Spaltpilze der Leguminosenwurzeln mit diesen Pflanzenteilen selber.

74. An und für sich leben die Schmetterlingsblütigen, wenn man sie vor Berührung mit den fraglichen Spaltpilzen bewahrt, z. B. wenn man diese durch vorausgehendes Kochen der Pflanzerde oder auf irgend eine andere Weise tötet, lahmlegt oder entfernt, genau wie andere grüne Pflanzen, d. h. sie erzeugen nur Eiweißstoffe, wenn ihnen im Boden Ammoniak- oder salpetersaure Salze dargeboten werden. Sie verfallen ebenso wie die Getreidearten oder alle andern landwirtschaftlichen Gewächse einem Hungerzustande, wenn ihnen diese stickstoffhaltigen Nährstoffe vorenthalten werden.

75. Eine gänzliche Veränderung tritt ein, wenn man die Pflanzerde mit den fraglichen Spaltpilzen versetzt, was in der Regel am besten dadurch geschieht, daß man etwas andere Erde beimischt von Stücken Land, wo schon lange die entsprechenden Schmetterlingsblütigen üppig gedeihen. Dann werden die Pflanzen plötzlich unabhängig von aller Düngung mit Ammoniak oder Salpeter und geben, wenn nur in jeder andern Hinsicht für ihr Gedeihen gesorgt ist, die höchstmöglichen Erträge an Pflanzenmasse und folglich auch an Eiweißstoffen. Man nennt dieses Geeignetmachen eines Bodens für diese üppige Kultur durch Zuführen von kleinen Mengen eines anderen Bodens, der schon mit ausreichenden Mengen von Spaltpilzen besetzt ist, bezeichnend genug Bodenimpfung. Außer Boden, an dergleichen Kulturen schon ge-

wöhnt, hat sich merkwürdigerweise auch Seeschlick und Mergel in dieser Beziehung als recht geeignet erwiesen, während reine Spaltpilzkulturen als Quintessenz des ansteckenden Stoffes fabrikmäßig bereitet, bis jetzt noch sehr wenig sichere Resultate gegeben haben.

76. Das Wesen der Kompagnieschaft der Wurzel eines Schmetterlingsblütigen mit den fraglichen Spaltpilzen hat man sich natürlich so zu denken, daß die letzteren das Vermögen haben, auch den freien Stickstoff der Luft zu Eiweißstoffen zu verwerten, und diese dann der grünen Pflanze, welche dieses Vermögens entbehrt, zur Verfügung stellen, während sie selber von den stickstofffreien organischen Stoffen profitieren, welche sie bei dem Fehlen von Blattgrün nicht selber zu erzeugen vermögen. So haben beide Lebewesen Vorteil von der Sache.

77. Der Zustand des Besetztseins der Wurzel der Schmetterlingsblütigen mit den in Rede stehenden Bakterien ist auch äußerlich leicht zu erkennen, durch die Bildung von kleinen oder größeren Knöllchen (bei den Lupinen sind sie so groß wie Knicker) an den jüngeren Wurzelteilen, Bildungen, die man wohl früher schon kannte aber als einfache Vorratskammer für Eiweißstoffe anzusprechen geneigt war. Eiweißreich sind sie allerdings in hohem Maße, aber dies Eiweiß ist zum Vorteil der Pflanze neu erzeugt unter Mitwirkung der Spaltpilze, welche das Zustandekommen der knöllchenartigen Anschwellungen bewirken.

78. Nicht alle Pflanzen, der Gruppe des Schmetterlingsblütigen zugehörig, haben die so eben erörterte Eigenschaft in gleichem Maße, wie sich zum Teil schon aus den kleineren oder größeren, der geringeren oder größeren Anzahl von Knöllchen erkennen läßt. Damit steht natürlich die praktische Wichtigkeit der Sache im allernächsten Zusammenhang.

In erster Linie sind jedenfalls die Lupinen zu nennen, welche daher auf leichtem Boden, auf dem sie gedeihen, als vorzüglichste Stickstoffsammler gelten; dann die verschiedenen Kleearten, welche für die schweren Böden dieselbe Rolle spielen. Auch Serradella und als Schmetterlingsblütige, welche des Samens wegen gebaut werden, die Erbsen, sind mit Lob zu nennen. Sie alle bedürfen niemals der Stickstoffdüngung; die Lupinen aber liefern eine solche für mehrere Jahre.

Die Bohnen sind dagegen schon ziemlich schwächliche Stickstoffsammler und können daher der Stickstoffdüngung nicht wohl entbehren. Noch schwächer wirkte die Akazie und ganz und gar nicht der Christusbaum (Gleditschia).

Mit dem Ausdruck „Schmetterlingsblütige“ ist also nur im großen und ganzen die Sache bezeichnet. Allerdings außerhalb dieser Familie giebt es nur wenig Stickstoffsammler. Nur die Erle wäre etwa bis jetzt mit Auszeichnung zu nennen.

79. Immerhin, wenn wir die soeben besprochenen Entdeckungen, deren wichtigster Teil sich an den Namen Hellriegel knüpft, auch mit ins Bereich unserer Betrachtungen ziehen, dann bleibt doch für das Element Stickstoff immer noch der Satz bestehen, daß dieser Grundstoff sich verhältnismäßig schwer verbindet und daß nur Stickstoffverbindungen im allgemeinen dem Pflanzenleben zugänglich sind. Der größte Teil des Stickstoffs des Dunstkreises spielt nur die Rolle eines gleichgiltigen Verdünnungsmittel seines Sauerstoffs und seiner Kohlensäure. Wenn aber der verbundene Stickstoff nur in geringer Beziehung zur Pflanzenwelt und damit zu der von dieser versorgten gesamten Organismenwelt steht, so ist im wesentlichen als in den organischen Reichen verwertbarer Stickstoff nur die verhältnismäßig geringe Menge zu rechnen, welche ein für allemal in gebundener Form in Pflanzen- und Tierleibern, im Humus und im Dunstkreis vorhanden ist. Zwischen diesen besteht ein wenig veränderlicher Kreislauf, indem der Stickstoff bald durch die Pflanze organisiert wird, bald durch Verbrennung und Verwesung der Organismenreste in das Mineralreich zurückkehrt.

Der Sachverhalt ist offenbar ganz anders wie beim Kohlenstoff oder Wasserstoff; denn diese kommen entweder als freies Element in der Natur gar nicht vor, oder aber, sie unterliegen wie die Steinkohlen einem natürlich verlaufenden und künstlich nur gesteigerten Verbrennungsprozesse, wodurch die Sauerstoffverbindung, welche zugleich auch Pflanzennährstoff ist, doch wieder zum Vorschein kommt. Der Hauptunterschied liegt in der äußerst geringen Neigung des Stickstoffs, einmal frei geworden, wieder in Verbindung einzugehen. — Man könnte ihn den Hagestolz unter den Elementen nennen.

80. Trotzdem ist die Sache nicht ganz so, wie sie auf den ersten Blick erscheint. Es giebt allerdings einige regelmäßig, wenn auch nicht in großer Ausdehnung stattfindende Vorgänge in der Natur, die diesen Widerstand zu brechen wissen. Der außerordentliche Hitzegrad, auf welchen einzelne Teile der die Erde umgebenden Luftschicht unter der Wirkung des Blitzstrahls gebracht werden, vermag Sauerstoff und Stickstoff, die beiden Luftarten, welche sonst unbehelligt nebeneinander existieren, zusammenzuschmieden, und es entstehen dadurch, wegen der Seltenheit des Phänomens, äußerst geringe Spuren von Salpetersäure. — Auch bei Verbrennungserscheinungen scheint regelmäßig etwas Stickstoff mit Wasserstoff zusammenzutreten und daraus eine Doppelverbindung von Salpetersäure mit Ammoniak (strenger zunächst: salpetrigsaures Ammoniak) zu entstehen, indem das Wasser sich gleichsam in seine Elemente spaltet und den Wasserstoff sowohl wie den Sauerstoff mit Stickstoff in Bindung bringt.

Durch derartige Vorgänge gelangt die Hauptmenge von gebundenem Stickstoff in die Atmosphäre, während auch noch von der Erdoberfläche abdunstendes Ammoniak, zum Teil durch eine besonders kräftig wirkende Art Sauerstoff, Ozon, zu Salpetersäure verbrannt, sich jenen beimengt. Es erscheint also hiernach, als ob die Menge von gebundenem Stickstoff in der Natur in stetiger Zunahme sich befinden müßte, und als ob der Pflanzenwelt und der gesamten Organismenwelt von dieser Seite her immer günstigere Aussichten auf eine breite Basis ihrer Existenz erblühen müßten, und dazu kommt dann noch die Stickstoffansammlung durch die Spaltpilze in den Wurzeln der Schmetterlingsblütigen.

81. Allein der Neubildung von gebundenem Stickstoff stehen auch Quellen der Zerstörung gegenüber. Es giebt auch Vorgänge in der Natur, durch welche der gebundene Stickstoff, so gerne er in der einmal gegebenen Form verharrt, wieder seiner Fesseln ledig wird. Als solche sind zu nennen die beiden ähnlichen Vorgänge: Verwesung und Verbrennung stickstoffhaltiger organischer Stoffe. Fallen diese der Verwesung anheim, so tritt zwar in der Regel die größere Masse ihres Stickstoffs in Form von den Pflanzennährstoffen, Ammoniak und Salpetersäure, aus; allein ein Rest entweicht als freies Element. Und vollends bei der ener-

gischen Verbrennung bei höherer Temperatur und mit Lichtentwickelung nimmt dieser Verlust ganz erhebliche Dimensionon an, während bei der Verwesung (wie auch bei der Verbrennung) der leichtere oder schwierigere Zutritt von Sauerstoff darüber entscheidet, ob größere oder kleinere Mengen von Stickstoff in freier Form abgespalten werden.

82. Um nun die Bilanz für den gebundenen Stickstoff zu ziehen, woraus ein prophetischer Blick auf den künftigen Haushalt der Organismenwelt möglich wäre, müßten wir die Buchhaltung mit benannten Zahlen durchführen. Dies aber ist auch schätzungsweise schlechthin unmöglich, und nur die beschränkteste Anmaßung könnte sich eines solchen Unternehmens erdreisten. — Aber etwas ist in dieser Richtung doch auszusagen möglich. Die Vorgänge erster Kategorie, das „Soll“ des Kontos für gebundenen Stickstoff sind, mit Ausnahme der Thätigkeit der stickstoffsammelnden Schmetterlingsblütigen, unabhängig von der Organismenwelt, die andern Vorgänge, welche als „Haben“ zu buchen wären, sind durchaus von der Ausdehnung dieser bestimmt und begrenzt. Denn verwesen und verbrennen können in der Natur nur Dinge, die von Organismen stammen und Organisches darstellen.

Hieraus ergiebt sich folgendes interessante Abhängigkeitsverhältnis. Die Menge von gebundenem Stickstoff bestimmt die Ausdehnung der Organismenwelt, da unter den verschiedenen Nährstoffen der Pflanze der Stickstoff leicht unzureichend sich vorfindet. Durch Ausdehnung der Organismenwelt wird aber natürlich dann die Zerstörung des gebundenen Stickstoffs begünstigt, so daß dann umgekehrt wieder ein Moment gegeben wird zur Einschränkung. — Kurz die Natur scheint sich dieser Einrichtung als einer Art Sicherheitsventils gegen ein zu großes Überhandnehmen der belebten Welt zu bedienen, oder umgekehrt der Organismenwelt als eines Regulators für das zu rasche Anwachsen des gebundenen Stickstoffs. — Weshalb? Darnach haben wir allerdings nicht zu fragen.

83. Wohl aber haben wir darnach zu fragen, welche Mittel der Mensch in der Hand hat, um in diese natürliche Ordnung der Dinge, die für seine Zwecke keineswegs die angenehmste ist, in seinem Sinne einzugreifen. Kann er die Quellen des Zu-

wachses an gebundenem Stickstoff stärker fließen machen und die seiner Verminderung verstopfen, und sind derartige Maßregeln wirtschaftlich ausführbar?

Natürlich sind in der Chemie Mittel genug bekannt, um den freien Stickstoff in Verbindung überzuführen. Wir haben ja z. B. die Macht, elektrische Funken, das sind ja Blitzstrahle im kleinen, nach Belieben hervorzubringen, und den Einfluß dieser energischen Vorgänge auf die Bindung von freiem Stickstoff und Sauerstoff haben wir ja bereits kennen gelernt. Allein nicht die theoretische Möglichkeit interessiert uns hier, sondern die Ausführbarkeit im großen, und da müssen wir denn leider aussprechen, daß so vielerlei Vorgänge wir kennen, durch welche solche Übergänge bewerkstelligt werden können, doch keiner mit so geringen Hilfsmitteln und mit so reichlicher Ausbeute gelingt, daß dadurch bis jetzt Stickstoffnahrung für die Zwecke des Pflanzenbaus gewonnen werden könnte.

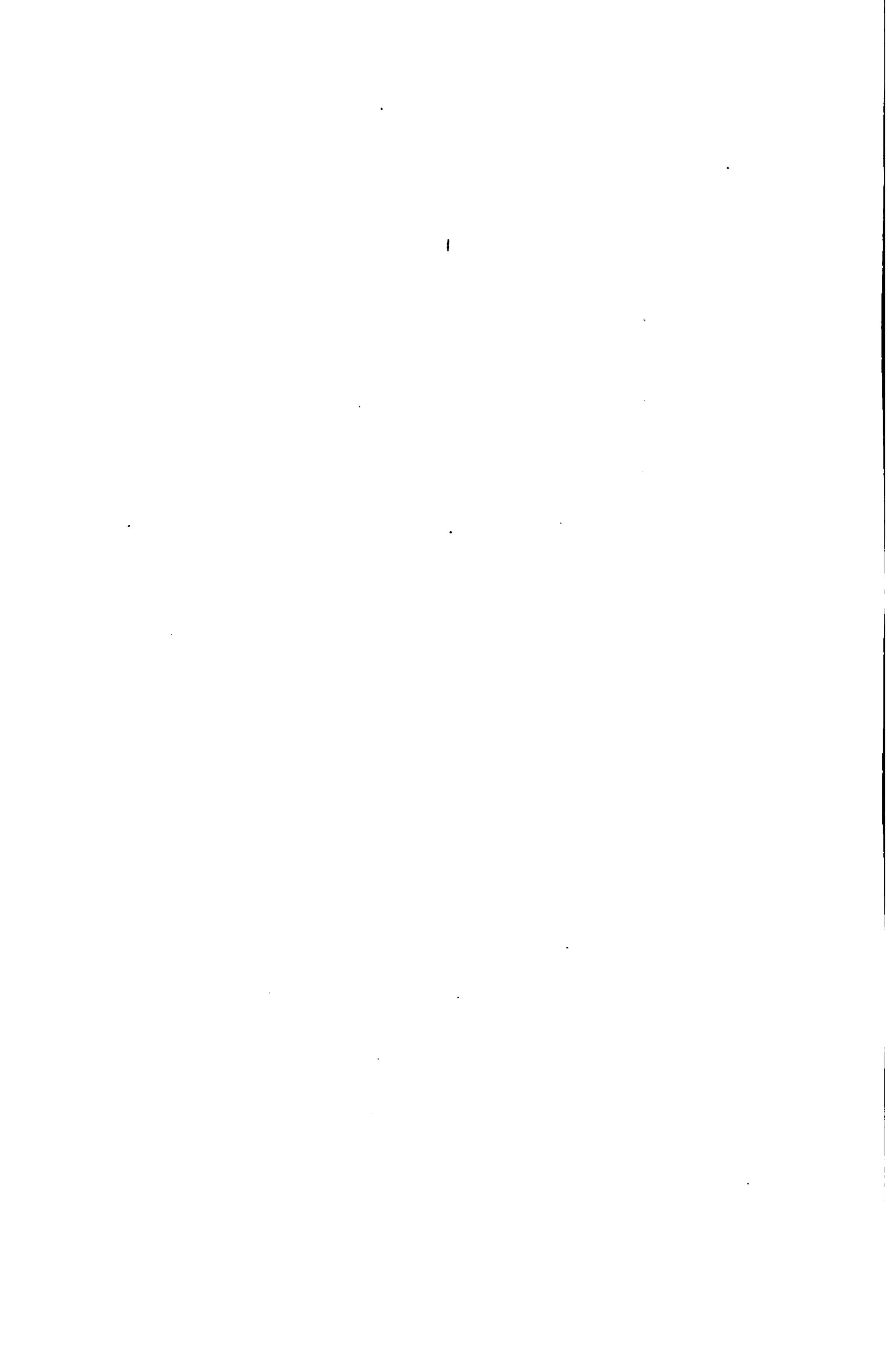
So viel Erfolg wir erneuten Versuchen über diese Möglichkeit gönnen, so müssen wir doch daneben als für den jetzigen Augenblick giltig feststellen, daß der Anbau von Lupinen, Klee und andern Schmetterlingsblütigen an geeigneten Stellen der Fruchtfolge zur Zeit das einzige brauchbare Mittel darstellt, das in der Landwirtschaft verfügbare Kapital von Stickstoff zu vermehren.

84. Einige verschiedene Mittel besitzen wir dagegen, um den andern Vorgang, durch welchen uns fortwährend Verluste an dem einmal vorhandenen Stickstoffkapitale drohen, einzuschränken. Und diese negative Einwirkung ist auch mit geringen Hilfsmitteln möglich. Wie es bei der Verbrennung stickstoffhaltiger Stoffe sehr wesentlich darauf ankommt, in Berührung mit welchen andern Körpern der Vorgang sich abwickelt, so gilt ein Gleiches auch für die Verwesung. Ist Luft abwesend und alkalische Substanzen zugegen, wie Soda, Pottasche, gebrannter Kalk, so wird bei der Verbrennung der Eiweißstoffe aller Stickstoff in der Form von Ammoniak entwickelt, bei der Verwesung wenigstens die Entbindung von freiem Stickstoff sehr wesentlich eingeschränkt.

Eine ähnliche Einwirkung ist auch für den Gips bei der Verwesung nachgewiesen, und auch die gewöhnliche Ackererde thut bis zu einem gewissen Grade die nämlichen Dienste. Also das

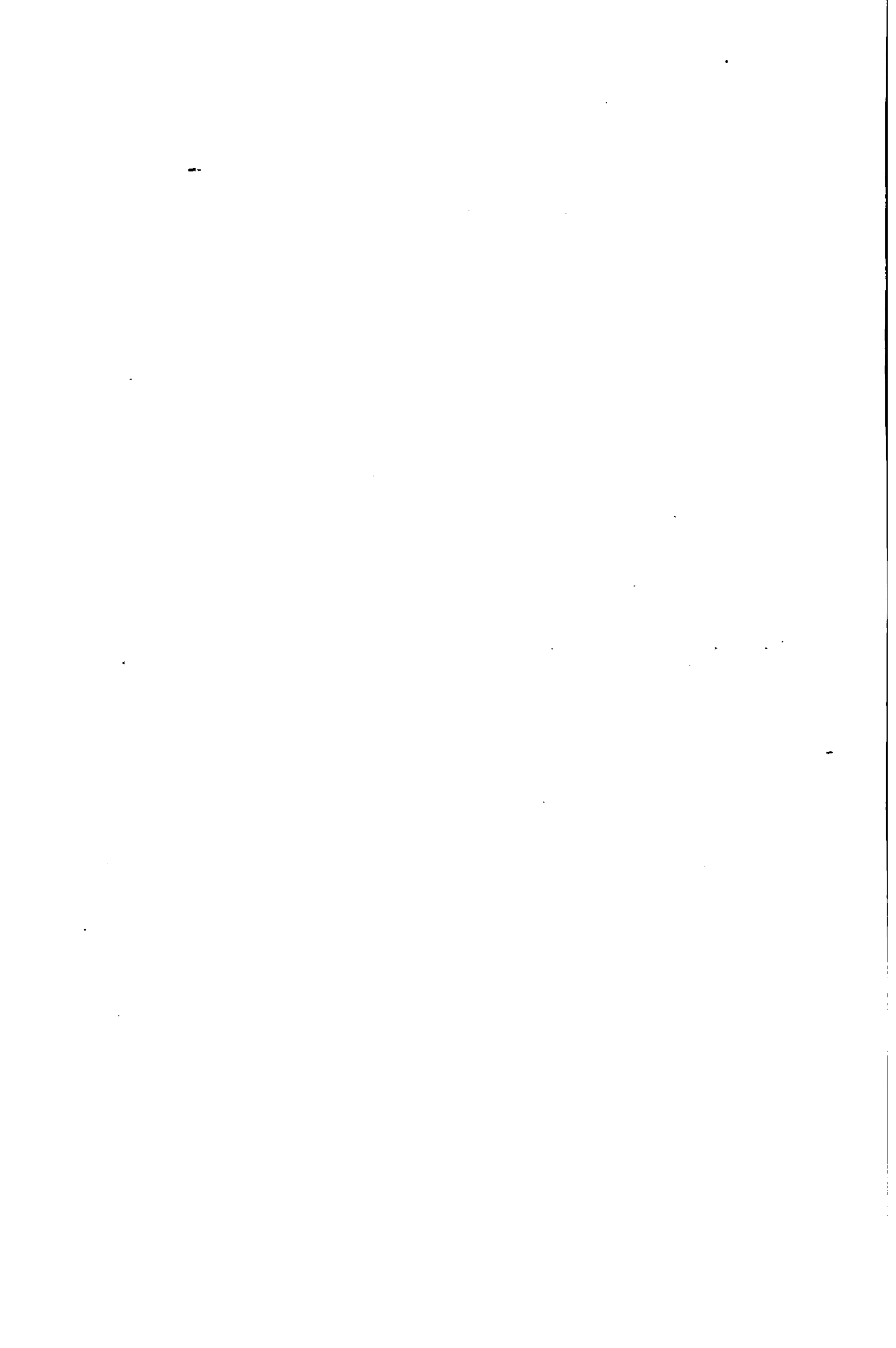
auch aus manchen andern Gründen sich empfehlende Kompostieren, zeitiges Unterbringen der als Dünger dienenden pflanzlichen und tierischen Reste unter die Ackerkrume, wirkt in dieser Richtung. Dann ist ja auf der Hand liegend, daß wir Verbrennungsvorgänge in gleichem Interesse möglichst auf stickstofffreie organische Stoffe einschränken können.

Also hier ist einstweilen schon eine sehr mannigfaltige Bethätigung zur Vermehrung resp. Konservierung der irdischen Vorräte an organisationsfähigem Stickstoffmaterial ermöglicht, und die Zukunft stellt für eine weitergehende Intensivierung des Ackerbaus auch andere und positive Einwirkungen in Aussicht; denn der hohe Preis für Ammoniak und Salpeter braucht nur wenig in die Höhe zu gehen, um die Chemiker anzureizen, ein wirklich praktikables Verfahren zu entdecken, mit Hilfe von welchem es gelingen wird, die großen Massen ungenützten atmosphärischen Stickstoffs im Interesse der menschlichen Kulturzwecke noch energischer als bisher auszunützen.



4. Abschnitt.

Die verbrennlichen Bestandteile der Pflanzen.



85. Auch durch die Zuziehung des Stickstoffs in den Kreis unserer Betrachtungen sind die Grundstoffe, welche sich wesentlich an dem Aufbau des Pflanzenleibes beteiligen, noch keineswegs erschöpft.

Auf die bequemste Weise erhält man Kenntnis von dem Bedarf der Pflanze an noch andern Bestandteilen, wenn man ein beliebiges Gewächs oder auch nur irgend einen Teil eines solchen verbrennt; und dies ist auch geschichtlich der Weg zu dieser Kenntnis gewesen. Die Thatsache, daß bei diesem Prozesse, durch welchen ja die gesamte verbrennliche Masse zerstört und in sich verflüchtigende Stoffe aufgelöst wird, immer etwas Unverbrennliches oder, wie wir es nennen, Asche zurückbleibt, ist zwar zunächst nur ein Fingerzeig für den wirklichen Bedarf. Bewiesen kann derselbe auf diese Weise nicht werden, da auch nachweislich entbehrliche, ja ganz unnütze Bestandteile, wie z. B. Ruß in den Lungen der Einwohner Londons, oder Blasensteine nach dauerndem Gebrauch von großen Mengen Apfelweins, sich in den lebenden Wesen jeder Art gelegentlich anzusammeln pflegen.

86. Der Beweis der Unentbehrlichkeit von solchen Aschenbestandteilen muß vielmehr auf die mühsame aber dann auch tadellos exakte Weise angetreten werden, daß man Pflanzen von irgend einem genau gekannten Stand ihrer Zusammensetzung an fortkultiviert, und die fragliche Nahrung ihnen vorenthält. Wachstum und Gedeihen, und noch schärfer die genaue chemische Untersuchung entscheidet dann später über Nutzen oder Schaden, über Notwendigkeit oder volle Entbehrlichkeit. Der Beweis, daß die Pflanze des Kohlenstoffs oder des Stickstoffs unter ihren unentbehrlichen Bausteinen bedarf, liegt ja auch darin, daß ohne Kohlensäure, ohne Salpetersäure keine weitere Vermehrung ihres Gewichtes möglich ist, während das regelmäßige Vorkommen von

Zellstoff oder Eiweiß nur diese Beantwortung im höchsten Maße wahrscheinlich machte. — Bei den Aschebestandteilen handelt es sich nun um eine sehr viel unregelmäßigere Verbreitung und häufig um kleinere Mengen in der organisierten Welt; um so notwendiger ist diese genauere Fragestellung.

Freilich sind doch mehrere Anhaltspunkte vorhanden, welche uns den spätern Entscheid vorhersehen lassen. Nämlich die Eiweißstoffe, von deren unveräußerlichen Rolle in der Pflanze wir schon eine zutreffende Vorstellung bekommen haben, enthalten schon an sich einen oder zwei Grundstoffe, welche unter gewöhnlichen Umständen bei der Einäscherung nicht mit verflüchtigt werden, sondern in der weiß gebrannten Asche erhalten bleiben. Die Eiweißstoffe sind also nur der Hauptmasse nach, wie wir bisher schlechthin annahmen, aus den vier behandelten Grundstoffen zusammengesetzt. In sehr kleinen Mengen beteiligt sich noch ein fünftes Element, der allbekannte Schwefel, und in dem meisten Fällen auch noch der Phosphor an ihrem Aufbau. Also, war unser früherer Schluß auf die Unentbehrlichkeit der so zusammengesetzten Eiweißstoffe richtig, so folgt daraus schon ohne weiteres die Notwendigkeit dieser beiden elementaren Bestandteile.

87. Das Gleiche haben nun auch alle in dieser Richtung unternommenen Kulturversuche ergeben; und seit man ernstlich an die Ausführung derartiger Versuche gegangen ist, war auch niemals mehr ein Streit über die Bedeutung dieser nichtflüchtigen Bestandteile. Der weltberühmt gewordene Kampf um die Bedeutung der Aschenbestandteile für Pflanzenernährung und Ackerbau tobte nur so lange, als man dieser entscheidenden Beweismittel entbehrte.

Man muß ferner, um die Möglichkeit einer solchen Meinungsverschiedenheit in einer so einfachen Frage zu begreifen, sich erinnern, wie sehr bis zur Mitte dieses Jahrhunderts die einzelnen beteiligten Wissenschaften einen von einander unberührten und unbefruchteten Entwickelungsgang genommen hatten. Die Chemie hatte durch sehr eifrige aber auch sehr einseitige Spezialforschungen plötzlich erstaunliche Fortschritte gemacht. Aber die ersten jedem Anfänger geläufigen Grundsätze derselben, z. B. von der Unver-

wandelbarkeit der Elemente, wurden von den Wissenschaften, die es mit lebenden Wesen zu thun haben und welche damals eigentlich nur im Interesse der Medizin kultiviert wurden, kaum berücksichtigt. Das ganze Gebiet der Pflanzenchemie und Pflanzenernährung lag, da es einstweilen keinem praktischen Zwecke dienstbar gemacht werden konnte, durch Jahrzehnte unbebaut da. Nun vollends die sogenannte Landwirtschaftswissenschaft bestand, wenigstens was ihre naturwissenschaftliche Seite angeht, in rohen Rezeptsammlungen, sie war im schlechten Sinne des Wortes eine Erfahrungswissenschaft und hatte noch keinen Einfluß verspürt von dem modernen Aufschwung der Naturforschung.

Nur so ist es verständlich, daß man sich weder in der Physiologie noch in der Landwirtschaftslehre darüber klar war, daß auch die Organismen nicht im stande sein konnten, Grundstoffe in einander zu verwandeln oder gar neu zu erzeugen; und diese Frage mußte zuvor erledigt sein, wollte man überhaupt von Entbehrlichkeit oder Notwendigkeit dieser Stoffe reden. So ist auch das unleugbare und von der großen Masse völlig nach Gebühr gewürdigte Verdienst von J. v. Liebig um die Pflanzenernährungslehre der Hauptsache nach dahin zusammenzufassen, daß er die Folgerungen aus in der Chemie längst anerkannten Grundsätzen von allen Zeitgenossen am unerschrockensten für Physiologie und Landwirtschaft gezogen hat, daß er die reformatorische That einer Überbrückung der tiefen Kluft zwischen innerlich verwandten aber leider in bedauernswerter Unbekümmertheit um einander verharrenden Wissenszweigen allem Widerspruch der zünftigen Fachgelehrsamkeit zum Trotz gewagt hat. Wir haben es in diesem Auftreten wie in allen reformatorischen Ereignissen vor allem mit der Äußerung eines ungewöhnlichen Charakters zu thun.

88. Hieraus erklärt sich dann die so ganz verschiedene Beurteilung des genannten großen Chemikers in Bezug auf seine Wirksamkeit als Landwirtschaftschemiker. — Die Einen, die mehr sachverständigen und kritischen Naturen, hatten ihr Auge ausschließlich auf den Inhalt der als neu sich gebärdenden Theorie gerichtet und fanden bei der Prüfung, daß die Ernährungslehre in den allermeisten Einzelfragen, aus Mangel an gediegener Sachkenntnis, bedeutende Entstellungen enthielt. Ja viele der so kühn

ausgesprochenen Sätze waren gar nicht einmal auf exakte experimentelle Ergebnisse gegründet.

Die andern, diese zumeist ohne genügende Kenntnis der landwirtschaftlichen Dinge, also z. B. die Fachgenossen Liebigs, wurden gerade durch die geistreiche Kühnheit der ersten Schrift überwältigt und vergaßen nun zu fragen, ob denn das „Was“ und „Warum“ in allen Stücken dem „Wie“ entspräche. Sie wurden zu einem in wissenschaftlichen Dingen so gefährlichen Enthusiasmus hingerissen, und folgten nun ihrem Autor durch Dick und Dünn bis in die Sackgassen und bis auf die Holzwege.

Wenn nun infolge dieser ungeklärten Parteistellung auch teilweise die friedliche Reformation in eine wilde Revolution mit aller der dieser eigenen Überstürzung und sogar ein wenig Schreckensherrschaft umschlug, so wird doch dadurch nicht der Fortschritt, der erlangt wurde, aufgehoben; und das Resultat des Kampfes ist: eine stolze und selbstbewußte Landwirtschaftswissenschaft, die auf der Höhe der modernen naturwissenschaftlichen Forschung steht und das Gegenteil ist von einer kastenartig sich abschließenden Fachgelehrsamkeit.

Von Liebig selber war die Frage nach der Notwendigkeit der Aschenbestandteile für die Pflanzen zwar mit der größten Zuversicht und mit dem größten moralischen Erfolg, aber sachlich beurteilt, zunächst nur aus Gründen der Wahrscheinlichkeit und ohne die oben geforderten endgiltig entscheidenden Belege bejaht worden.

89. Aber beinahe gleichzeitig mit seinem Auftreten wurde 1842 dieser noch vermißte Beleg in der Beantwortung einer von der Universität Göttingen gestellten Preisfrage beigebracht. Hier wurde erst gezeigt, wie zu einem endgiltigen Abschluß der Frage notwendig war, daß erstens nie mehr Aschenbestandteile in einer kultivierten Pflanze vorgefunden werden, als man derselben davon vorher in Aussaat und Nahrung zur Verfügung stellt. D. h. also der in der Chemie längst feststehende Satz von der Unerschaffbarkeit und Unzerstörbarkeit der Grundstoffe wurde auch für die innern Vorgänge in den lebenden Wesen in seiner Gemeingiltigkeit nachgewiesen. — Und zweitens ergab sich dann, daß wenn man den Pflanzen die gewöhnlichen Aschenbestandteile,

welche wir in ihnen antreffen, vorenthält, dieselben kein irgendwie gedeihliches Wachstum zeigen, ja kaum ihre verbrennliche Masse ansehnlich zu vermehren im stande sind, ja in einzelnen Fällen schon im Keimstadium erliegen.

Die Versuchsanstellung selber war freilich nicht so einfach, wie dies der Frageformulierung nach aussieht. Es handelte sich darum, die natürliche Ackererde durch etwas zu ersetzen, aus dem keine Mineralstoffe selbst unter der Mitwirkung der Wurzelsäuren ausgelaugt werden konnten, während für die Stickstofffrage durch bloßes Ausglühen die Erde in der gewünschten Weise abzuändern war. Selbst Glasgefäße als Behälter und Quarzpulver als deren Inhalt entsprechen diesen Voraussetzungen keineswegs ganz vollständig. Man mußte schließlich zu Platinspänen und zu Zinngefäßen mit Wachsüberzug u. dgl. greifen, ehe man zu ganz scharfen Resultaten gelangte. Auch der Staub der Luft spielt vielfach eine störende Rolle.

90. Es handelt sich weiter für uns darum, diesen in solcher Allgemeinheit hingestellten Satz von der Notwendigkeit der Aschenbestandteile in einzelne von einander unabhängige besondere Spezialsätze aufzulösen. Für jeden einzelnen in Frage gezogenen Grundstoff muß die Bearbeitung in der gleichen Weise und mit der gleichen Schärfe vorgenommen werden. Nirgends zeigt sich mehr das Ungenügende in der Weise zu schließen, welche selbst noch bei Liebig die stehende war: Wären die Aschenbestandteile nicht von Bedeutung für die Pflanze, so wären sie auch nicht da — als in der gleich zu erörternden Thatsache, daß einzelne der häufigst, ja ganz regelmäßig vorkommenden feuerfesten Pflanzenbestandteile ohne jeden bemerkbaren Schaden ausgeschlossen werden können.

91. Für Schwefel und Phosphor war die Unentbehrlichkeit aus ihrer Beziehung zu den Eiweißstoffen von vorne herein wahrscheinlich, und so ist denn auch die experimentelle Beantwortung der gleichen Frage mit voller Entschiedenheit bejahend ausgefallen. Keine Nährlösung oder irgend ein anderes nährendes Medium hat je irgend eine Pflanze dauernd zu erhalten oder gar zu einer gedeihlichen Entwickelung zu bringen vermocht, wenn Schwefel- oder Phosphorverbindungen ausgeschlossen waren. Und

zwar sind die letzteren stets in größeren Mengen nötig, woraus die praktische Nützlichkeit von Phosphatdüngung sich ergiebt, während die kleinen Mengen von Schwefel in der Regel aus dem Boden oder zufälligen Beimengungen anderweitiger Düngestoffe gedeckt werden können.

92. Ein weiteres Element, der Kiesel genannt, erfreut sich einer beinahe so großen Verbreitung in der Pflanzenwelt als die ebengenannten. Freilich kommt dasselbe nicht ganz so gleichmäßig über alle Pflanzenarten verbreitet vor wie die eben genannten Aschenbestandteile, aber innerhalb ganzer Familien tritt es auch wiederum weit mehr in den Vordergrund, in dem Grade, daß man, bevor die versuchsmäßige Entscheidung gegeben war, sich nicht scheute, gerade die landwirtschaftlich bedeutungsvollen Gräser und Getreidearten als Kieselpflanzen zu bezeichnen, und zwar in dem Sinne, daß bei ihrer Düngung und Kultur wohl ganz besonders auf dieses Element Rücksicht zu nehmen sei.

Für diesen Grundstoff nun haben aber dann die entscheidenden Kulturversuche ganz aller Erwartung entgegen ergeben, daß er entbehrlich ist, auch für die Grasgewächse, in welchen er sich in der Natur in so großen Mengen aufgehäuft findet. — Wir haben also hier zum erstenmale den Fall einer zufälligen Aufspeicherung vor uns, und aufs deutlichste sehen wir den Satz illustriert: die Pflanzen wählen sich nicht bloß das für sie Notwendige aus den Vorräten ihrer Umgebung aus, sie häufen auch manchen Ballast in sich auf, genau wie ein Huhn mit dem auf den Boden verstreuten Samen unfehlbar auch Erde und Unrath aufpickt. Man kann dieses Resultat auch so ausdrücken: die Pflanzen haben kein absolutes Wahlvermögen.

93. Mit diesem Ergebnisse aller einschlagenden Kulturversuche fällt auch die alte Vorstellung über den Grund der Notwendigkeit des Kiesels in die Brüche — eine Vorstellung, die lange eine weitverbreitete Geltung besessen hatte. Die gewöhnliche Form des Auftretens des Kiesels ist seine Sauerstoffverbindung, welche die Chemiker als Kieselsäure, die Mineralogen als Kieselerde benennen. In dieser Form bildet er die schönen Krystalle von Bergkrystall und Amethyst, den Quarz und den Achat, also Mineralien von großer Härte. In der Form von Kieselsäure kommt

nun der gleiche Grundstoff gelöst in der Ackerkrume vor, so daß er in die Pflanze eintreten, dort aber zu solchen freilich mikroskopisch kleinen aber harten krystallinischen Gebilden erstarren kann. Die Fähigkeit der Gräser zu schneiden, zarten Kinderhänden bekannt genug, ist ein Beleg dafür, daß dadurch allerdings dem pflanzlichen Gewebe eine empfindliche Härte verliehen werden kann.

Jene verführerische Vorstellung bestand nun darin, daß durch Einlagerung krystallinischer Kieselsäure den Gras- und Getreidestengeln die nötige Festigkeit verliehen werden sollte, sich aufrecht zu erhalten. Fehlt es im Boden an Kieselsäure, so spann man die Theorie weiter, so entsteht das gefürchtete „Lagern" des Getreides.

In den Kulturversuchen zeigte sich nun aber, diesen Folgerungen widersprechend, eine große Festigkeit der Halme auch ohne jenes mineralische Knochengerüste. Es zeigte sich ferner bei näherm Hinblick, daß die Kieselsäure sich gar nicht vorzugsweise in den Stengelteilen, sondern ganz überwiegend in den Blättern, die nichts zu tragen haben, einlagert. — Ferner hat sich dann bei näherer Untersuchung der Ursache des Lagerns herausgestellt, daß dieses auch eintritt bei großem Kieselreichtum der Halme und überhaupt in allen den Fällen, wo bei zu dichtem Stand und zu reichlicher Ernährung die Halme sich gegenseitig beschatten, und dann aus Mangel an Licht eine gewisse Vergleichung, eine schwächliche Längsstreckung bei ungenügender Verdickung der Zellwände zeigen, daher dann auch einzelstehende Halme bei ganz beliebiger Ernährung diese krankhafte Bildung niemals zeigen.

94. Einige Forscher wollen trotz alledem eine gewisse Nützlichkeit für die Kieselsäure in Anspruch nehmen. So wurde beobachtet, daß kieselfreie Gräser zu einem Befallen von Schmarotzerpilzen, deren Fäden durch die weniger harten Zellwände leichter eindringen sollen, neigen, daß ferner die Blätter im Winde leichter umknicken, und ganz sicher ist es, daß sie dem Schneckenfraße vielmehr ausgesetzt sind. Auch meint man, wenn ein Teil der die Pflanze nach außen abgrenzenden Zellwände aus Kieselsäure gebildet ist, dadurch eine Ersparnis an Zellstoff zu diesem Zwecke bewirkt werden könnte. In allen Fällen ist auseinanderzuhalten zwischen Entbehrlichkeit und einem Mangel an jedem

Nutzen. Die erstere ist bei dem Kiesel für die höhern Gewächse mit Sicherheit festgestellt; deswegen ist eine Nützlichkeit in zweiter und dritter Linie immer noch möglich. Auch die Tiere können z. B. die Galle in ihrem Darme recht wohl entbehren und bei sonst guter Kost völlig gedeihen. Trotzdem ist die Ausnutzung einer gegebenen Nahrung sehr viel besser bei Anwesenheit des braunen Lebersekretes.

95. Nicht unähnlich wie für den Kiesel hat sich die Ernährungsfrage durch eingehende Versuche auch für das Chlor gestellt, dessen Verbindungen, wie namentlich das gewöhnliche Kochsalz, sehr verbreitet in der Ackererde sind. Aber es zeigt sich für das Chlor doch im Verhältnis der Leichtlöslichkeit seiner Verbindungen, nur ein sparsames Vorkommen in der Pflanze — und keine Anhäufung, welche andererseits beim Phosphor und beim Stickstoff so weit geht, daß wir aus der Ansammlung dieser Elemente irgendwo in der Natur immer sofort zu dem Schlusse bereit sind, das sei durch die Thätigkeit von Organismen geschehen.

Das Chlor erscheint nun, dieser geringen natürlichen Aufspeicherungstendenz entsprechend, in den allermeisten Kulturversuchen als ein thatsächlich entbehrlicher Bestandteil der Pflanzen, während das Kochsalz bekanntlich für die höheren Tiere einen durchaus notwendigen Nährstoff darstellt. Aber eine gelegentlich nützliche Wirkung hat man auch für diesen Grundstoff, namentlich in seiner Verbindung mit dem Metalle der Pottasche, dem Kalium, auszuspüren vermocht.

Praktisch sind solche Wirkungen in zweiter und dritter Linie gewöhnlich ohne Bedeutung, weil solche Mengen, wie sie hierbei zur Geltung kommen, in einer jeden Ackererde und bei jeder Behandlung derselben vorzukommen pflegen, und eine Verarmung des Bodens nur an solchen Stoffen eintritt, welche schon an sich nicht in übermäßigen Mengen auftretend stark in der Pflanze konzentriert werden, was, wie schon angedeutet, in erster Linie für Stickstoff und Phosphor Geltung hat.

96. In einigen Fällen hat man auch ungünstige Wirkungen des Chlors auf das Pflanzenleben beobachtet, so bei den Kartoffeln, die nach chlorreichen Düngungen an Stärkegehalt zurück-

gehen und bei Tabak, der desto schlechter verglimmt und daher für die Cigarrenfabrikation ganz untauglich wird, je größer sein Gehalt an Chlor bei einem zu geringen Gehalte an Kali ist, daher chlorhaltige Böden und Düngungen für die Tabakskultur strenge zu meiden sind.

97. Wir hätten nun noch die vorzüglichsten Metalle der Asche auf ihre Bedeutung für das Pflanzenleben zu prüfen. Von den fünf Metallen, welche in den Glührückständen regelmäßig angetroffen werden, dem schon erwähnten Natrium (dem Metalle der Soda und des Kochsalzes) und Kalium (dem Metalle der Pottasche), dem Calcium (dem Metalle des Kalks) und Magnesium (dem Metalle des Bittersalzes) und dem Eisen, sind die vier letztern für die höheren grünen Gewächse als unentbehrlich gefunden worden.

Das Eisen kommt nur in sehr geringen Mengen in dem grünen Farbstoffe der Blätter vor, bei dessen Entstehen es mitwirkt, und kann dementsprechend von den nicht grünen Gewächsen, z. B. von den Pilzen fast ganz entbehrt werden. Die andern finden sich beinahe überall in der Pflanze verbreitet, so daß wir aus deren Verteilung nur sehr unvollkommen auf die eigentliche Leistung schließen können, um derenwillen diese Stoffe von der Pflanze nicht entbehrt werden können.

Für das Kalium hat man zwar eine Beziehung zu der Entstehung, Wanderung und Verwandlung der Stärkegruppe aufgestellt; aber das ist doch einstweilen nur ein undeutlicher Fingerzeig, der, ähnlich wie für Eiweißstoffe und Phosphor, mehr die Thatsache eines gemeinschaftlichen Vorkommens konstatiert als dieselbe unserm Verständnis näher rückt.

Das Calcium treffen wir in den Blattorganen stark angehäuft, und es sind vorzugsweise die blattreichen Pflanzen, wie die Kleearten, welche sich den Namen von Kalkpflanzen erworben haben, während die weißen Teile natürlich bunter Blätter, ferner die blatt- und blattgrünlose Kleeseide auf dem kalkreichen Klee schmarotzend beinahe frei von diesem Elemente sind. Auch die Pilze haben kein Kalkbedürfnis. — Genaue Beziehungen zu bestimmten Vorgängen in der Pflanze haben wir aber in allen diesen Fällen nicht.

98 Wir können uns leicht einen sehr einfachen Überblick über die gesamte Pflanzennahrung verschaffen, wenn wir die einzelnen für notwendig erkannten Nährstoffe systematisch gruppieren. Wir haben es früher schon als Regel aufgestellt, daß die unentbehrlichen Elementarbestandteile von der Pflanze in Verbindung mit Sauerstoff, und zwar in sauerstoffgesättigter Verbindung aufgenommen werden. Diese Regel hat gerade für die Aschenbestandteile nur Bestätigungen erfahren. Die sauerstoffreichsten Verbindungen der nichtmetallischen Grundstoffe sind Säuren, die der Metalle sind Basen; und bezeichnend genug, wo wie beim Eisen mehrere basische Oxydationsstufen vorhanden sind, wird der sauerstoffreicheren dem Eisenoxyd, in der Ernährung der Vorzug gegeben.

99. Basen und Säuren bilden miteinander wieder kompliziertere Verbindungen, die wir Salze nennen. So kann man aus der Säure, Schwefelsäure, der sauerstoffreichsten Verbindung des Schwefels, und der Base, Kalk, ein Salz erzeugen, das chemisch gesprochen „schwefelsaurer Kalk“ heißt, und auch noch einen sehr verbreiteten Namen „Gips“ hat.

Die Salze sind nun Verbindungen von wenig hervorstechenden Eigenschaften, in denen, wie man annimmt, die gegenseitigen Anziehungskräfte der Einzelbestandteile sich ausgeglichen haben und darum nicht mehr zur Geltung kommen. Gerade deshalb sind aber die Salze sehr geeignete Körper, um von Organismen ohne Schaden aufgenommen zu werden, denn diese zarten Bildungen werden durch freie chemische Kräfte von hervorragender Stärke gar leicht so angegriffen, daß sie erliegen. Nur sehr schwache Säuren und Basen, wie die Kohlensäure oder wie sehr verdünntes Ammoniak können unverbunden mit den Organen einer Pflanze in Berührung kommen, ohne sie zu schädigen. Aber die starke Schwefelsäure, das ätzende Kali müssen wir zuvor durch Basen, respektive durch Säuren, abstumpfen, ehe an eine Ernährung damit gedacht werden kann. Die regelmäßige Aufnahmeform der Pflanzennährstoffe wäre also ein unorganisches, ein Mineral-Salz, welches, in vielem Wasser gelöst, von der Wurzel aufgesogen wird.

Dabei ist nun aber verhältnismäßig gleichgiltig, an welche

Base eine aufzunehmende Säure gebunden ist. Es braucht dieser begleitende Bestandteil der nährenden Verbindung nicht einmal einen anderen Nährstoff zu enthalten, wenn es nur ein unschädlicher Körper ist, und gerade durch diese Vergesellschaftung bahnen sich Natron und Chlor so oft den Weg in die Pflanze, wenn sie an sich entbehrt werden könnten. So kommt es, daß wir wenig Rücksicht nehmen auf diese nähere Art und Weise der dazu sehr vergänglichen Form der Bindung von Säuren und Basen zu Salzen, und uns so ausdrücken, als würden diese zum Teil in ihrer Ungebundenheit schädlichen Stoffe als solche aufgenommen.

100. So ist es gemeint, wenn wir sagen: der Schwefel wird als Schwefelsäure, der Phosphor als Phosphorsäure aufgenommen; in Wahrheit handelt es sich um schwefelsaure und phosphorsaure Salze, deren Basen man aber im allgemeinen nicht näher andeuten will. Und so ist es auch gemeint, wenn wir uns ausdrücken: die höhere grüne Pflanze wird ernährt, von Wasser, von vier Säuren und vier Basen; sie braucht außerdem freien Sauerstoff. Die vier Säuren sind, ungefähr der Menge nach geordnet, in welcher sie durchschnittlich zur Verwendung kommen:

Kohlensäure,
Salpetersäure,

Phosphorsäure,
Schwefelsäure,

mit der Anmerkung, daß Salpetersäure durch Ammoniak vertretbar ist. Die vier Basen sind:

Kali,
Kalk,
Magnesia,
Eisenoxyd.

Die sechs zuletzt genannten Stoffe (unter dem Strich) sind die unentbehrlichen Aschenbestandteile. In dieser Form ist der Nährstoffbedarf der Pflanzen leicht im Gedächtnis zu behalten.

Freier Sauerstoff und Kohlensäure werden mit den oberirdischen Teilen aus der Luft, die anderen Nährstoffe mit der Wurzel aus dem Boden aufgenommen.

Bemerkenswert ist noch, daß die höheren Tiere außer diesen 10 Elementarbestandteilen der Pflanze noch 3 andere notwendige

Bestandteile, nämlich Natrium, Chlor und Fluor besitzen, während die niedrigen Pflanzen sicher des Calciums, vielleicht auch des Schwefels entraten können und mithin sich mit 8 Grund-Stoffen begnügen. Wir erkennen, mit der Mannigfaltigkeit der organischen Leistungen steigt auch die Zahl der notwendigen Bestandteile.

101. Daß nun auch die praktischen Folgerungen aus dieser seit 1840 zu Tage geförderten Erkenntnis weitgreifende sind, geht schon aus dem Umstande hervor, daß der Streit um die Bedeutung der Aschenbestandteile in einem so großen Kreise ausgekämpft worden ist wie er sich für rein wissenschaftliche Fragen niemals zusammenfindet. — Wir haben schon bei Behandlung der Stickstoffernährung die Folgen der Ernährungsweise für die Düngungsmethoden hervorgehoben. Die gleichen Konsequenzen gelten für alle Pflanzennahrungsmittel, soweit sie nicht wie das Wasser aus dem Dunstkreise stammend in ihren Mengenverhältnissen von atmosphärischen Bedingungen abhängig sind oder gar wie die Kohlensäure ausschließlich durch oberirdische Pflanzenteile aufgenommen werden. Der Boden verarmt notwendig mit der Zeit an allen denjenigen Bestandteilen, welche in die Pflanze übergehen, durch eine regelmäßig fortgesetzte Entnahme von Ernten; und unter Umständen, welche für manche Aschenbestandteile sehr leicht eintreten, wird diese Verarmung bis zur Erschöpfung an einzelnen Bestandteiten gehen können, d. h. bis zu einer Verminderung der Nährstoffe in einem Grade, daß die Fruchtbarkeit des Bodens darunter leidet. — Wir haben hier also ein Moment vor uns, durch welches die Produktionsfähigkeit von Ländereien infolge von fortgesetztem Anbau mehr und mehr abnimmt, während es daneben andere Momente giebt, welche wenigstens eine Zeitlang in umgekehrter Richtung wirken.

102. Dabei sind einige Gesichtspunkte zu beachten, die öfters in der Pflanzenernährungslehre vernachlässigt oder unrichtig erwogen worden sind. Jeder einzelne unentbehrliche Pflanzennährstoff ist gleich wichtig und daher ist von seiner Anwesenheit die Gesamtproduktion abhängig.

Gerade wie einem zu mästenden Tiere ein Übermaß von kräftigem Heu nichts nützen kann, wenn wir ihm nicht gleichzeitig eine genügende Menge Wassers zu saufen gehen, gerade wie in

einem Ofen ein Übermaß von Brennmaterialien keine größere Wärme erzeugt, wenn der Luftzutritt zum Roste gehemmt ist, — so nützt auch im Boden ein Übermaß von Phosphorsäure nichts, wenn an irgend einem andern Nährstoff Mangel herrscht. Von Eisen bedarf ein grünes Gewächs nur unglaublich geringe Mengen, der größte Baum vielleicht nur einige Gramm; aber wenn wir ihm diese vorenthalten, so werden eben die Blätter nicht grün; und infolge des Fehlens des grünen Farbstoffs kann auch keine neue Pflanzenmasse hervorgebracht werden, auch wenn ein anderer Faktor dieses Vorganges, das Sonnenlicht in überreicher Fülle die Pflanze bestrahlt.

Wenn wir von einem ganz bestimmten Verhältnis der einzelnen Nährstoffe und ebenso der übrigen Vegetationsbedingungen ausgehen, wie diese am günstigsten zusammenwirken, also für irgend eine Pflanze z. B. 1 Teil Schwefelsäure, 3 Teile Phosphorsäure, 4 Teile Kali, $^1/_{20}$ Teil Eisen, so viel Wärmeeinheiten von Licht ꝛc. ꝛc., so wird die einseitige Vermehrung irgend einer Bedingung für das Gesamterzeugnis nichts wirken, und ebensowenig die Steigerung aller Bedingungen mit Ausnahme von einer. Sämtliche Bedingungen müssen natürlich gleichzeitig vermehrt werden, soll die Gesamtwirkung aller der vielen zusammengehörigen Ursachen und Bedingungen eine Steigerung erfahren.

Und dann umgekehrt. wenn vorher nicht das günstigste Verhältnis des Zusammenwirkens hergestellt war, so wird der in geringster Menge — natürlich nicht absolut, sondern ausgehend von jenem richtigen Verhältnisse — vorhandene Nährstoff, die Gesamtproduktion regieren, gerade wie der Mästungseffekt bei einem Tiere, welches man dursten läßt, von den Mengen verabreichten Wassers abhängig erscheinen wird und nicht von der Summe der übrigen Nahrungsmittel, während unter gewöhnlichen Umständen, wo das Wasser, weil kostenlos, in beliebig großer Menge vorhanden ist, die andern Nährstoffe allein maßgebend sind, so zwar, daß man das Wasser praktisch als Nährstoff gar nicht gelten lassen will.

103. Diese Gesetzmäßigkeit nun, welche eigentlich keine neue Sache ist, sondern nur eine einfache logische Folge von der Unentbehrlichkeit der einzelnen Nährstoffe, ist seiner Zeit von Liebig als das Gesetz des Minimums bezeichnet worden, weil der in

kleinster Menge (im Minimum) vorhandene Nährstoff die Grenze und der Maßstab ist für die Größe der Ernte. Allein, absonderlich genug, dieses Gesetz sollte nach seinem Entdecker nur Geltung haben für die Aschenbestandteile. Alles andere mußte diesen neu erkannten Faktoren des Pflanzenwuchses gegenüber in den Hintergrund treten. Durch Vermehrung aller Aschenbestandteile sollten die Ernten bis ins Unbegrenzte gesteigert werden können, während in Wirklichkeit ganz regelmäßig das beschränkte Vorhandensein von aufnehmbaren Stickstoffverbindungen dem Pflanzenwachstum eine nahe Grenze setzt — eine Thatsache, durch nichts besser zu erläutern, als daß stickstoffhaltige Materialien die gesuchtesten, weil durchgängig die wirksamsten Düngemittel sind.

Und darüber hinaus, wird wieder die ewig unverrückbare Menge von auf einer Bodenfläche verfügbarem Sonnenlicht eine gänzlich unübersteigbare Einschränkung für die Größe einer Ernte abgeben. — In jener Einseitigkeit befangen wurden von der Verwendung von eigens patentierten, lediglich aus Aschenbestandteilen zusammengesetzten, Düngemitteln goldene Berge erhofft, während es sich nachher zeigte, daß die landwirtschaftliche Praxis durch bloßes Tasten und „Probieren“ schon beinahe so weit gekommen war, als sie auch durch „Studieren“ hätte gebracht werden können, und daß sie die wichtigsten mineralischen Düngemittel schon teilweise unabhängig von der Wissenschaft zu verwenden begann.

Allerdings ist dann später von der klaren Erkenntnis der Pflanzenernährung eine ganz ungeahnte Entwickelung der Düngungsmethoden ausgegangen, da nichts unserem praktischen Handeln eine so große Stütze zu gewähren pflegt wie die wissenschaftliche Aufdeckung seiner letzten Gründe, während bloße Erfahrungssätze leicht durch neue vielleicht ungenügend erhärtete Erfahrungen erschüttert oder gar in der öffentlichen Meinung umgestoßen werden. Aber daneben darf die Thatsache nicht ganz mit Stillschweigen übergangen werden, daß die erste Verwendung mineralischer Düngerarten schon vor Ausbau der wissenschaftlichen Erkenntnis begonnen hatte.

104. Die wichtigsten Düngemittel unter den gleich wichtigen Aschenbestandteilen sind nämlich diejenigen, welche, an sich sparsam im Boden vorkommend, von den Pflanzen in sehr starkem Ver-

hältnisse aufgenommen werden, und für die also die Wegnahme der fertigen Pflanzenmasse am empfindlichsten ist. Man sieht, daß es im einzelnen von der Natur der kultivierten Pflanze und ebenso von der ursprünglichen Bodenzusammensetzung abhängen wird, welcher Stoff zu einem wichtigen Düngemittel wird. Auch die üblichen Ernte- und schon bestehenden Düngemethoden werden hierauf von Einfluß sein. Aber im allgemeinen kann doch gesagt werden, daß der Stickstoff leichter als die Aschenbestandteile ins Minimum gerät, daß unter den Aschenbestandteilen die Phosphorsäure oben ansteht und dann vielleicht vom Kali gefolgt wird. Für Kalk ist das Verhältnis je nach Bodenart gar wechselnd, so daß er häufig in vielfachem Überschuß vorhanden ist, in einzelnen Fällen aber der Mangel an ihm dennoch Unfruchtbarkeit bedingt. Bei der Magnesia, dem Eisen und der Schwefelsäure ist nur in selteneren Fällen ein Mangel beobachtet worden.

105. Man sieht, daß dieses Gesetz des Minimums gerade das Gegenteil ist von der Anschauung der Vertretbarkeit der einzelnen Aschenbestandteile unter einander. Trotzdem hat diese letztere Meinung teilweise neben jenem einige Geltung besessen.

Es ist ja von vornherein klar, daß wenn der eine Nährstoff durch einen andern vertreten werden könnte, nicht wohl von einer Unentbehrlichkeit des ersteren die Rede sein könnte. Allein man wurde durch ein anderes Verhalten zu einer derartigen Anschauung geführt. Wenn man bei Kulturversuchen mit der Menge von zugesetzten Nährstoffen wechselte und z. B. auf einmal nur einen Bruchteil von Kali verabreichte, dafür aber die Menge des Kalks ansehnlich vermehrte, so wurden auch in den unter diesen wechselnden Bedingungen erzogenen Pflanzen verschiedene Mengen von Kali und Kalk vorgefunden. Der Kalk vermehrte sich in der reichlicher mit diesem Stoffe ernährten Pflanze, während Kali dagegen etwas in den Hintergrund trat, wenn auch bei weitem nicht in den gleichen Verhältniszahlen der abgeänderten Ernährung. In einem gewissen Sinne konnte man also allerdings von einer Vertretung dieser Basen reden.

Aber man darf nicht vergessen, daß eine solche ganz äußerliche Vertretung nichts mit einer Vertretung in der Eigenschaft als Nährstoffe zu thun hat. Jene ist ganz einfach eine

unvermeidliche Folge schon angedeuteter im 5. Abschnitt näher zu erörternder Gesetzmäßigkeiten, nämlich davon, daß die Pflanze nicht bloß aufnimmt, was sie braucht, sondern in einem gewissen Grade auch, was ihr in den Weg kommt. So gut sie Natron aufnimmt, mit welchem sie nichts anzufangen weiß, so gut nimmt sie auch ein Übermaß an Kalk oder Kali auf, nachdem ihr Bedarf daran bereits befriedigt ist. — Handelte es sich wirklich bei solchen Ersetzungen um eine Vertretung den Leistungen nach, so ist nicht abzusehen, warum der Ersatz immer nur bis zu einem Bruchteile geht und niemals ein ganz vollständiger beobachtet wird.

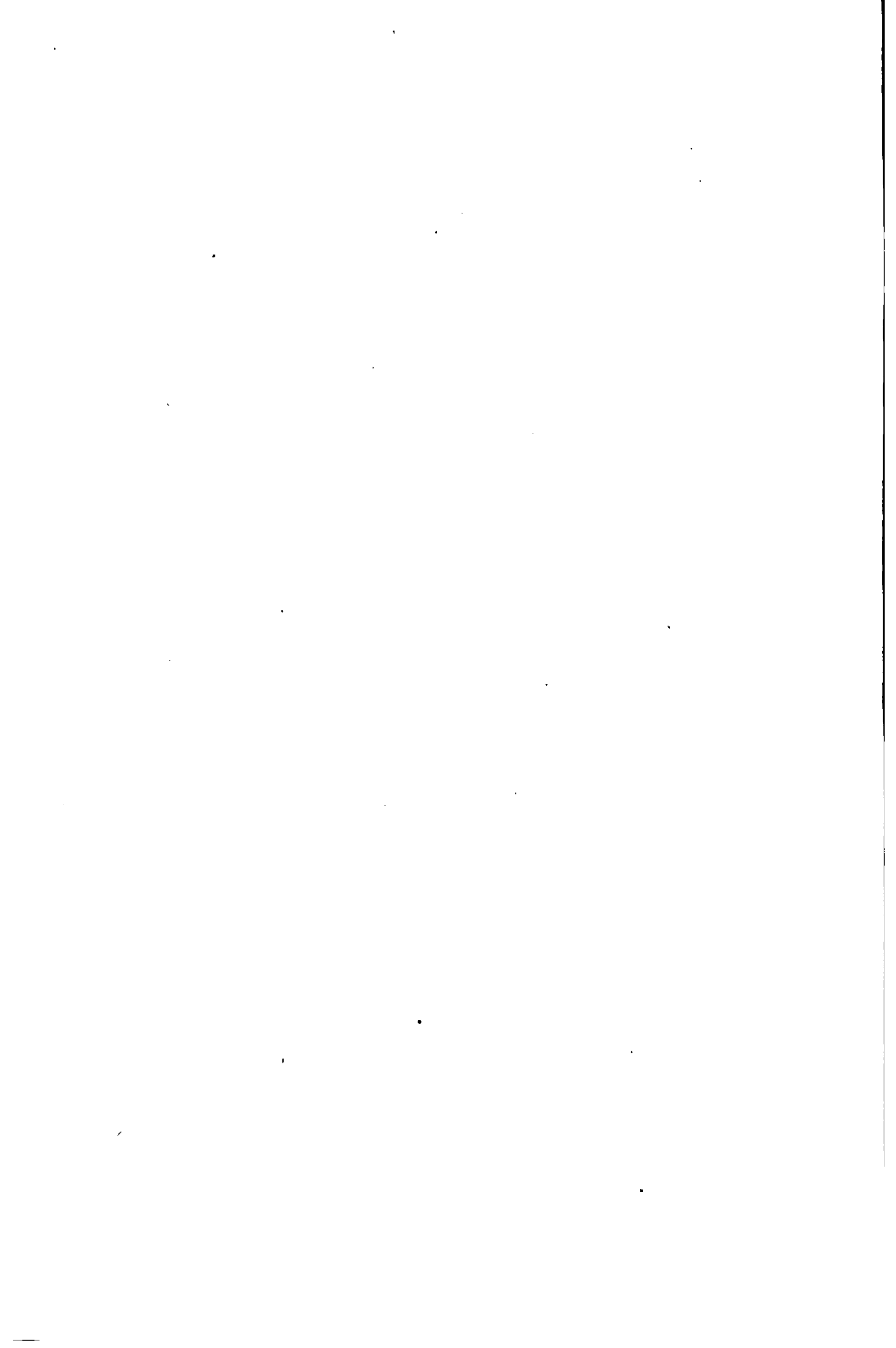
Da ein solcher niemals festgestellt werden konnte, und da wir zur Zeit nur sehr unvollkommene Mittel besitzen, bei dem Statthaben einer teilweisen Vertretung zu beurteilen, ob der Stellvertreter die Funktion des Vertretenen übernehmen konnte, so hat man sich lange der ganzen Substitutionstheorie, wie man die fragliche Anschauung gewöhnlich nennt, gegenüber ablehnend verhalten. Es war darauf hinzuweisen, wie scharf die organische Welt nach der Individualität der Nährstoffe fragt und wie sie ein Quiproquo des einen für einen andern chemisch noch so ähnlichen duldet. Ob wir zu einer chemischen Reaktion im Laboratorium uns des Kalis oder des Natrons bedienen, das scheint uns in den meisten Fällen ziemlich gleichgiltig zu sein. Der Organismus macht für die Reaktionen in seinem Innern feinere Unterschiede, und nimmt nicht einmal das kaum vom Kali unterscheidbare Rubidion an der Stelle von diesem an.

106. Trotz dem eben Gesagten ist doch nach den sinnreichen und mit vieler Geduld durch Jahre fortgesetzten Versuchen von Emil Wolff neuerdings eine teilweise Stellvertretung als wirklich möglich zu erkennen. Wenn man nämlich eine Pflanze bei Übermaß aller übrigen mit den thunlichst kleinen Mengen von einem Nährstoff ernährt, so erfährt man auf diese Weise das Minimum dieses Nährstoffs für die fragliche Versuchspflanze. Wenn man dann in neuen Versuchsreihen auch die übrigen Minima aufsucht; dann sollte man nach der älteren Lehre denken, daß man schließlich durch ein Zusammenfügen aller dieser Minima unter Vermeidung eines jeden Überflusses die Pflanze normal müsse ernähren können.

Dies ist gleichwohl nicht der Fall. Die Pflanze hat weit mehr nötig als die Summe dieser Minima und daraus folgt, daß der Rest angefüllt werden kann durch verhältnismäßig gleichgiltige Bestandteile, für welche dann natürlich auch die Vertretbarkeit eingeräumt werden muß.

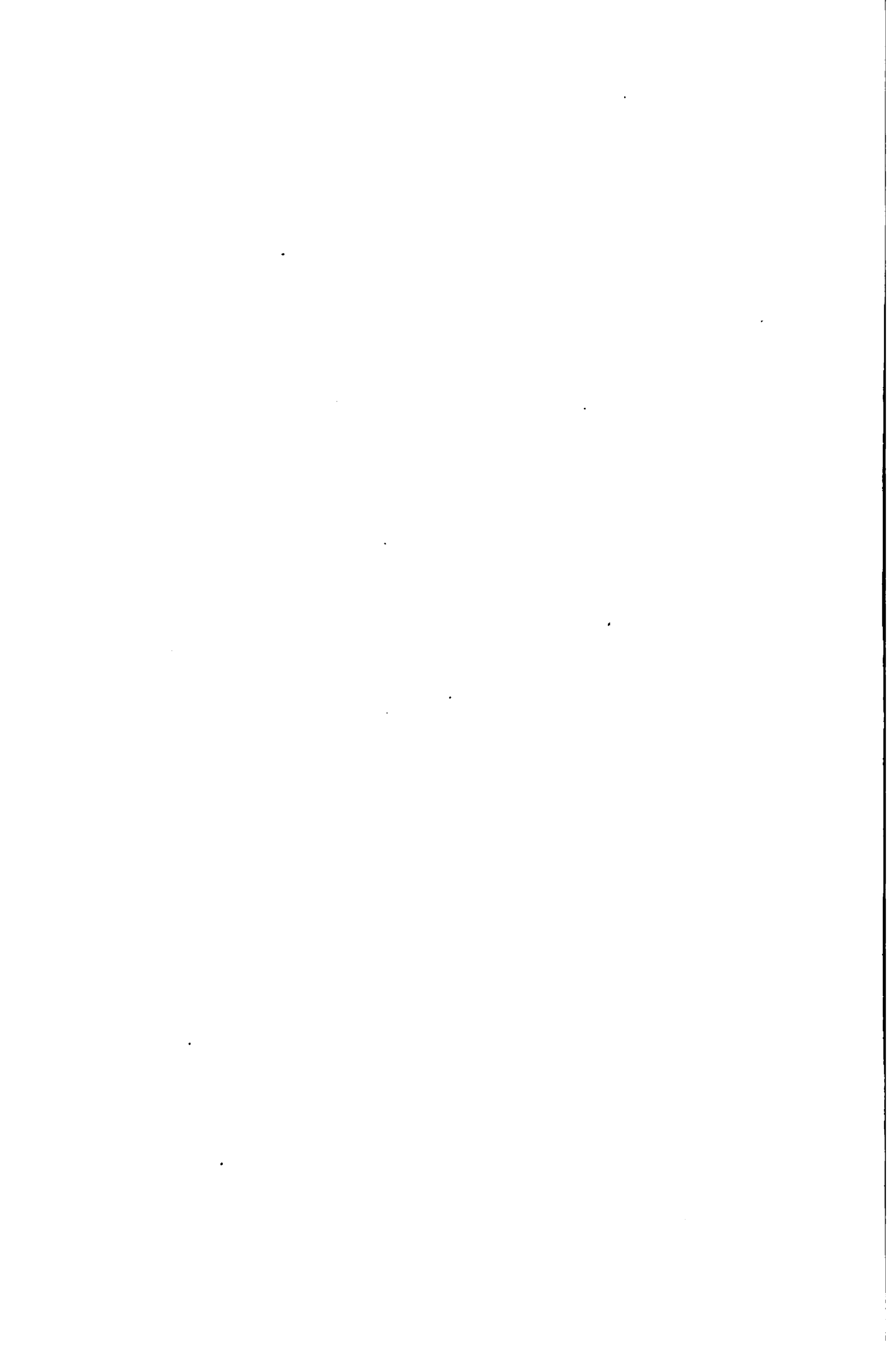
Wolff hat unter anderm auf diese Weise gezeigt, daß manche Pflanzen zwar niemals des Phosphors entbehren können, aber mit weniger von diesem Grundstoffe auskommen, wenn ihnen gleichzeitig Kiesel in löslicher Form geboten wird.

Man begreift, daß diese Resultate auch für die richtige Würdigung der wirksamen Düngerbestandteile, als welche fortan auch nicht unentbehrliche Stoffe zugelassen werden müssen, von großer Bedeutung sind.



5. Abschnitt.

Die Stoffaufnahme und der Stoffaustausch der Pflanze.



107. Wir wissen nunmehr, aus welchen Stoffen der Pflanzenleib sich aufbaut. Wir wissen, daß in den Zellen mit grünem Inhalt Kohlensäure und Wasser zusammentritt, und daß sich organische Substanz auf diese Weise bildet. — Wir wissen, daß in denselben oder auch in andern Pflanzenteilen Salpetersäure, Schwefelsäure hinzukommt, und daß auf diese Weise die wichtigen Eiweißstoffe geformt werden. — Wir wissen endlich, daß Phosporsäure und eine Anzahl von basischen Stoffen an der Erzeugung von bestimmten für die Pflanzen notwendigen Verbindungen Anteil nehmen. Das Vorhandensein aller dieser Rohmaterialien innerhalb der maßgebenden Bildungsstätten wurde bisher ohne Weiteres vorausgesetzt. Wie sie dorthin gelangen, darüber haben wir uns noch keinerlei bestimmte Vorstellung gebildet.

Und doch werden wir uns einer solchen Kenntnißnahme nicht entschlagen dürfen, sollen unsere Pflanzenernährungsstudien einen praktischen Boden gewinnen, sollen aus unserer Erkenntnis des Nährstoffbedarfs brauchbare Folgerungen für den Pflanzenbau abgeleitet werden. Hierzu ist es schlechterdings unerläßlich, daß wir nicht bloß wissen, aus Kohlensäure, Wasser, Salpetersäure rc. formt die Pflanze die Bausteine zu ihrer Vergrößerung, sondern daß wir uns daneben bewußt sind, ob die Kohlensäure durch die Wurzeln oder die grünen Organe aufgenommen werden muß, ob sie als Gas oder in Wasser gelöst oder gar nur als festes kohlensaures Salz in der Umgebung der Pflanze vorhanden sein muß, um von dieser verwertet zu werden. — Auch Anhaltspunkte über die erforderlichen Mengen der einzelnen Nährstoffe werden dabei zu gewinnen sein.

108. Vor allem müssen wir mit der uns bereits bekannten Thatsache rechnen, daß die Pflanze aus einzelnen nach außen abgeschlossenen Zellen gebildet ist. Die Zellenwandungen haben

keine wahrnehmbaren Öffnungen, und wenn trotzdem Stoffe unausgesetzt aus der einen Zelle heraus und in die andere hinein wandern, so geschieht dies in flüssiger Form. Denn flüssige Stoffe sind so fein verteilt, daß sie keiner sichtbaren Poren bedürfen, um durch feste Körper hindurchzugehen; für sie genügen jene feinsten Zwischenräume zwischen den kleinsten Teilchen der Substanzen, Teilchen die wir mit unsern Sinnen nicht wahrzunehmen vermögen, die wir aber gleichwohl zur Erklärung von sinnlich Wahrnehmbarem überall anzunehmen gezwungen sind.

Diese Verhältnisse müssen uns auch für die Betrachtung des äußeren Stoffwechsels als unverrückbare Grundlage gelten. Denn wenn die Behauptung, wie man sie der Einfachheit wegen zu machen pflegt, daß auch die erwachsene Pflanze nur durchweg aus zelligen Elementen besteht, nicht strenge stichhaltig ist, so gilt doch das Gesagte für die Orte der Neuerzeugung und der ganzen wunderbaren chemischen Thätigkeit in der Pflanze. Alle diese Fabrikationsräume — um unser gebrauchtes Bild wieder aufzunehmen — sind in Bezug auf ihre Hauptmerkmale durchaus unveränderte Zellen, und damit da Nährstoffe hineingelangen, müssen diese in flüssiger Form vorhanden sein, wobei der Ausdruck: flüssig, natürlich nicht bloß für tropfbare Flüssigkeiten, sondern ebenso für Gase, welche wir ja auch als elastische Flüssigkeiten bezeichnen, Geltung hat.

Wenn es also auch ausgedehnte Räume in der Pflanze wie im Tierleibe giebt, welche nach außen hin nicht nur durch Zellwände abgeschlossen sind, so kommen doch diese ausnahmslos nicht für die geheimnißvollen Vorgänge des Lebens in Betracht. Es vollziehen sich daselbst höchstens Prozesse, die zwar wichtig für die Ernährung sein mögen, zur Not aber auch außerhalb des Organismus vor sich gehen könnten, so daß man die betreffenden Räume, wie z. B. Lunge und Darmkanal gerne als Einstülpungen der Außenfläche des Tierkörpers betrachtet. Es wird also durch diese scheinbaren Verwickelungen keine Ausnahme von der Regel bewirkt, daß alle Nährstoffe allen lebenden Wesen und insbesondere auch den Pflanzen in flüssiger Form geboten sein müssen und daß umgekehrt auch die Stoffausscheidung in der gleichen Weise erfolgen muß.

109. Freilich in diesem Erfahrungsgesetze ist nicht eingeschlossen, daß die Pflanze an der, der Aufnahme vorausgehenden, Verflüssigung eines Nährstoffes nicht selbstthätigen Anteil nehmen könnte. Ähnlich wie im Magen des Tieres, der gewissermaßen nur das örtlich Innere, aber nicht das organisch Innere desselben darstellt, feste Stoffe unter dem Einflusse von abgeschiedenen Verdauungssekreten gelöst werden, um dann erst, durch die Häute des Verdauungskanals hindurchgehend, an dem Aufbau des tierischen Organismus teil zu nehmen, so beteiligt sich auch die Pflanze an dem Verdaulichmachen des in fester Form Ungeeigneten. Aber derartige Vorgänge sind bei ihr verhältnismäßig einfach.

Zuerst ist zur Feststellung der Thatsache hervorzuheben, daß wir in jeder beliebigen Landpflanze mineralische Bestandteile vorfinden, welche in der ganzen Umgebung nicht in gelöster Form, oder in solcher nur in Spuren anzutreffen sind. Dies gilt z. B. ziemlich allgemein für die Phosphorsäure, welche in vielen Bodenarten durch einen einfachen wässerigen Auszug sogar nicht wahrzunehmen ist.

Sodann hat man eigene Versuche zu diesem Zwecke angestellt. Man hat einer im Boden sich verzweigenden Pflanzenwurzel polierte Gesteinsplatten in den Weg gelegt, und nachgewiesen, daß dieselben in vielen Fällen genau an den Stellen, wo die Wurzel sich ihnen angeschmiegt zeigt, geätzt werden. Dies gilt vor allem für Marmor, der aus krystallinischem kohlensaurem Kalke besteht, dann für Phosphorit, der im wesentlichen phosphorsaurer Kalk ist, aber in demselben oder etwas vermindertem Maßstabe auch für eine Reihe von andern bodenbildenden Gesteinen. Man nimmt schon nach einer kurz dauernden Vegetationsperiode äußerst zierliche Wurzelabdrücke auf geschliffenen Tafeln dieser Mineralien wahr, so daß sich die ganze Wurzelverzweigung bis ins Einzelne dort wiedererkennen läßt. Diese Erscheinung ist natürlich nur so zu erklären, daß die Pflanzenwurzel Körpern gegenüber, mit denen sie in unmittelbare Berührung kommt. eine selbständige Fähigkeit äußert, dieselben in Lösung überzuführen, wodurch dann solche Körper an den Berührungsflächen angegriffen werden.

110. Es ist unschwer, die so festgestellte Thatsache zu erklären. Der Zellsaft der Wurzeln reagiert wie der der meisten

Pflanzenorgane stark sauer; freie Pflanzensäuren, namentlich die weit verbreitete Kleesäure, Äpfelsäure, Citronensäure oder wenigstens saure Salze dieser Säuren lassen sich daselbst nachweisen. Diese Säuren durchtränken auch die nach außen abgrenzenden Zellwände, da diese Zellwände für sie durchlässig sind. Wenigstens deutet man auf diese Weise die jedem zugängliche Beobachtung, daß Wurzeln schwach an blaues Lakmuspapier angedrückt oder über dasselbe hinwachsend, eine deutliche Rötung hervorbringen. Wenn man sich nun irgend eine mit saurer Flüssigkeit durchtränkte Wurzelspitze an ein Gestein dicht anschließend denkt, welches durch schwache Säuren angegriffen und schließlich in Lösung übergeführt werden kann, so muß der Erfolg natürlich eine Anätzung an der betreffenden Stelle sein, und das Gelöste wird unmittelbar durch die Zellwand hindurchgehen und je nachdem zur Ernährung beitragen können.

Entsprechend dieser Anschauung sehen wir Pflanzen, welche viel Säure in sich zu erzeugen vermögen, auch eine hervorragende aufschließende Wirkung auf ihren Nährboden ausüben. Die am nackten Felsen klebenden Flechten, die Bärlapparten auf unfruchtbarem Heideboden, die allerdings bei diesem Standorte darauf angewiesen sind, mit energischen Mitteln in den Kampf ums Dasein zu treten, führen sogar die Thonerde der Gesteine in ihr Gewebe über, einen Stoff, der im übrigen wegen seiner Schwerlöslichkeit beinahe von der gesamten Pflanzenwelt verschmäht wird.

Und auch künstlich vermögen wir einen Apparat herzurichten, der ganz der gegebenen Erklärung entspricht. Eine mit schwacher Pflanzensäure durchtränkte Schweinsblase, mit einem Stück Kreide oder Marmor in unmittelbarer Berührung, hat auch die Fähigkeit, davon aufzulösen, und die Lösung nach der anderen Seite in eine wässerige Flüssigkeit gelangen zu lassen. — Kurz die ganze Sache hat durchaus nichts Wunderbares, und die Ausnahme von der an die Spitze unserer heutigen Betrachtungen gestellten Regel existiert nur scheinbar. Flüssig muß die Pflanzennahrung in allen Fällen sein oder werden können, sei es auch unter Mithilfe der Pflanze selber.

111. Die Zellwände sind für Flüssigkeiten durchlässig, aber sie sind es nicht für alle Bestandteile der Flüssigkeiten in gleichem

Maße. Darauf beruhen viele sonst rätselhafte Erscheinungen des Stoffaustausches. Wasser, das ja selber einen Bestandteil der natürlichen pflanzlichen Häute ausmacht, geht eben aus diesem Grunde leicht durch sie hindurch, etwas schwerer schon gelöster Zucker und äußerst schwer oder gar nicht die eiweißartigen Stoffe. Je komplizierter die Zusammensetzung eines chemischen Körpers, je schwieriger passieren dieselben die quellbaren Zellwände; und der Gedanke ist — bei aller Naivität desselben — nicht von der Hand zu weisen, daß die kleinsten Teilchen solcher Körper eben einfach zu groß sind, um durch die unsichtbaren Poren der Wandungen hindurchzugehen.

112. Von Gasen passieren diejenigen am leichtesten durch die feuchten Häute, welche in dem Quellungswasser am leichtesten löslich sind, so daß hier die Kohlensäure einen sehr merkbaren Vorsprung vor den andern in Betracht kommenden Luftarten, Sauerstoff und Stickstoff, bekommt.

Auch diese ungleiche Durchgangsgeschwindigkeit läßt sich leicht durch Versuche anschaulich machen, am einfachsteu auf die Weise, daß man an Stelle der wässerigen Zellhaut einfach dünne Wasserhäute wählt. Man erzeugt z. B. Seifenblasen durch Einblasen von Kohlensäure in Seifenwasser. Durch die Wandungen jener wird dann ein Gasaustausch zwischen der Kohlensäure und der gewöhnlichen Luft stattfinden müssen. Aber die in Wasser leicht löslichen Kohlensäureteilchen gewinnen nach unserer Auseinandersetzung einen Vorsprung vor den wenig löslichen Gasen der Luft. Die Folge davon ist, daß die Blase mehr luftförmigen Inhalt verliert als wieder gewinnt, sie wird also kleiner werden, zusammeuschrumpfen; und das ist es, was wir thatsächlich unter den angegebenen Umständen beobachten.

Das Umgekehrte muß natürlich eintreten, wenn die Kohlensäure außen, die Luft sich innen befindet, d. h. also wenn man auf gewöhnliche Weise durch Blasen mit dem Munde die Seifenblasen erzeugt, und dieselben dann in ein Glas voll Kohlensäure eintaucht. Auch dieses leicht anzustellende Experiment gelingt in der vorauszusehenden Weise. Die Blase schwillt zuerst an und platzt dann allerdings rasch.

Ganz ähnlich, nur vielleicht etwas abgeschwächt, haben wir

uns die Sache für die Zellwandungen zu denken. Ja man hat auch hier für die lebende Pflanze die Bestätigung durch den Versuch gesucht und gefunden. Man hat durch größere Pflanzenteile, z. B. von den Höhlungen des Stengels aus nach außen Gase hindurchgepreßt und beobachtet, daß die Kohlensäure dabei unter allen Umständen den Vorsprung gewinnt — eine Thatsache, die nur so erklärt werden kann, daß auf diesem komplizierten Wege feuchte Zellhäute durchsetzt werden müssen, wofür aber die große Löslichkeit der Kohlensäureteilchen in dem Wasser dieser Häute in Betracht kommt. Wären auf dem Wege durch das Pflanzengewebe nur offene Poren und Kanäle zu durchdringen, so würden gerade die schweren und daher schwerbeweglichen Kohlensäureteilchen weit dahinten bleiben.

113. Die Folgen dieser aufgedeckten Gesetzmäßigkeiten für die Pflanzenernährung sind bedeutungsvoll. Man behalte im Auge, wie spärlich das ausschließliche Rohmaterial für den Kohlenstoff der Pflanze in der Umgebung derselben angetroffen wird. Nur etwa $^1/_{30}$ % Kohlensäure ist in der Luft unseres Dunstkreises enthalten. Und doch versteht es die Pflanze mit dieser verdünnten Nahrung auszureichen; denn wenn man sie auch daran verhindert, durch die Wurzeln irgend welche kohlenstoffhaltigen Substanzen sich anzueignen, so gedeiht sie deshalb nicht weniger üppig als sonst.

Dies Verhalten ist nur dadurch erklärlich, daß die Kohlensäure so außerordentlich rasch die Zellwände der grünen Organe durchsetzt, und bis zu den tiefer liegenden grünen Zellen eindringt. An sich ist ja der Kohlensäurevorrat der Atmosphäre unerschöpflich, und wenn nur das Wenige, was sich an einem bestimmten Orte befindet, rasch genug ein- und nachströmt, so ist natürlich für jeden beliebigen Bedarf die zureichende Menge vorhanden. Das verhindert aber keineswegs, daß nicht doch eine etwas größere Menge von Kohlensäure in der umgebenden Luft für Pflanzen mit massig entwickelten grünen Organen und bei sehr starkem Lichte vorteilhafter wäre.

Die Erkenntnis dieser Sachlage ist mit daran Schuld, daß man neuerdings für Erwerbung der Kohlensäure keinen so großen Wert mehr legt auf die eigentümlich geformten Lücken zwischen

den äußeren Blattzellen, auf die sogenannten Spaltöffnungen, welche ihrerseits mit engen zwischen den innern Zellen verlaufenden Kanälchen in Verbindung stehen, und diese merkwürdige Einrichtung mehr in Beziehung bringt zu den Verdunstungserscheinungen, welche allerdings durch Öffnen und Schließen jener Spalten, in ziemlich wirksamer Weise reguliert werden.

114. Der Sauerstoff andererseits, welcher in viel kleinerem Maße von den Pflanzen für den Atmungsprozeß erforderlich ist, findet sich in der Luft in einer 600 mal so großen Menge vor, so daß für sein Eindringen in die Pflanze besondere Vorrichtungen entbehrt werden können, außer bei dickeren Stämmen, für welche man in der That dem entsprechend feine in die Rinde mündende Kanäle angetroffen hat. Übrigens ist der Sauerstoff weit stärker in Wasser und wassergetränkten Häuten löslich als der ihn in überwiegender Menge begleitende Stickstoff, dem nur in besonderen Fällen Einwirkungen auf die organische Welt zukommen. Diese Thatsache ist immerhin bemerkenswert, zumal für die Atmung der der von Luft mehr oder minder abgesperrten Wurzelorgane, sowie für die Lebensbedingungen aller im Wasser vegetierenden Wesen.

115. Ganz ähnlich wie für den Gasaustausch durch Zellwände liegt auch die Sache für den Durchgang von tropfbaren Flüssigkeiten durch dieselben. Allerdings treten hier noch einige weitere verwickelnde Umstände hinzu, deren wenigste wir aber hier zu berühren brauchen. Tropfbare Flüssigkeiten passieren durchgängige „Membranen“, wie die Häute mit den beschriebenen Eigenschaften genannt werden, nur dann, wenn jenseits derselben eine Flüssigkeit sich befindet, die gewisse Anziehungskräfte auf die erstere ausübt und zum Zeichen dessen sich mit ihr in jedem Verhältnisse mischt. Wir mögen eine Membran wählen, welche wir wollen, wir werden Wasser wohl zu Weingeist oder zu einer Salzlösung hinübertreten sehen, aber niemals zu Öl. Es kommt also hier neben den Eigentümlichkeiten der durchgängigen Häute und der durchgehenden Flüssigkeiten auch noch auf die Eigentümlichkeiten der gegenüberstehenden Flüssigkeit an.

Also damit der Vorgang überhaupt statt hat, müssen die Flüssigkeiten mit einander unter allen Umständen mischbar sein; ob aber der Stoffaustausch hinüber oder herüber der überwiegende

sei, darüber entscheidet wesentlich das Verhalten der Membran zu der betreffenden Flüssigkeit. Die natürlichen Zellwände haben ein großes Anziehungsvermögen für Wasser, sie sind in denselben quellbar. Also Wasser wird immer vorzugsweise rasch hindurchgehen.

Steht dem Wasser eine Salzlösung gegenüber, so kommt es auf das besondere Verhalten der Zellmembran gegen die gelösten Salzteilchen an, ob der dagegen sich vollziehende Austausch mit einer sehr viel geringeren Geschwindigkeit erfolgt. Die gewöhnlichen einfach zusammengesetzten und krystallisierbaren Salze stehen dem Wasser in den meisten Fällen nicht sehr viel nach an Durchgangsgeschwindigkeit, während komplizierter aufgebaute organische Stoffe, namentlich die eiweißartigen, mehr und mehr die Fähigkeit verlieren, von den Häuten in bemerkbarer Menge durchgelassen zu werden.

Die aufgeworfene Frage ist übrigens für irgend einen flüssigen Stoff versuchsmäßig noch leichter zu entscheiden wie bei den Gasen, da einfach die Vermehrung der Flüssigkeit auf der einen Seite der Scheidewand einen ganz direkten Maßstab für die Durchgangsgeschwindigkeit an die Hand giebt. Lege ich eine mit 10prozentiger Kochsalzlösung gefüllte Schweinsblase in ein Maßgefäß voll Wasser, in welchem sich bei Beginn des Versuchs 2 l Wasser befunden haben, so giebt mir der Kochsalzgehalt des äußeren Wassers nach einer gewissen Zeit die Menge des durchgegangenen Salzes an; eine Vermehrung oder eine Verminderung der Wassermenge daselbst zeigt mir ferner, ob weniger oder mehr Wasser als Kochsalz durch die Blasenhaut gegangen ist. Bei den allermeisten Salzen, wie bei dem Kochsalz selber tritt, wie gesagt, das Letztere ein. Füllt man die Blase aber gar mit konzentrierter Eiweißlösung, so quillt dieselbe, wenn auch mit geringerer Geschwindigkeit, strotzend auf, und in der umgebenden Flüssigkeit können kaum Spuren von dem organischen Stoffe nachgewiesen werden, zum Zeichen, daß das Wasser mit der vielhundertmaligen Geschwindigkeit eindringt, als dem Eiweiß hinauszutreten verstattet wird.

116. Alle diese Dinge sind für die Pflanzenernährung von der äußersten Wichtigkeit. Man beachte die Lage einer Wurzel in der Bodenfeuchtigkeit oder gar einer untergetauchten Wasser-

pflanze in dem sie umspülenden flüssigen Elemente. Hier soll Wasser von außen aufgenommen werden; desgleichen in demselben gelöste salzartige Nährstoffe.

Der Austausch soll aber durchaus ein einseitiger sein. Die organisierten Stoffe des Zellinhaltes sollen sich, kaum erschaffen, nicht wieder nach außen verlieren. Der Zellinhalt besteht nun in der Wurzel wie überall wesentlich aus einer eiweißhaltigen schleimigen Flüssigkeit. Die stickstofffreien Körper der Stärkegruppe sind derselben vorwiegend in ungelöster Form, nämlich als Stärkekörner selber, eingebettet. Ein Durchgang dieser Stoffe durch die besonders schwer durchgängigen, die Pflanze nach außen hin abgrenzenden Zellhäute steht daher nicht zu befürchten.

Umgekehrt bewirken aber diese Substanzen durch ihre Anziehungskraft für Wasser die beschleunigte Aufnahme dieses in größter Menge erforderlichen Nährstoffes; und hier finden wir eine der Ursachen zum Zustandekommen des Wasserstromes, welcher die Landpflanze unausgesetzt von unten nach oben durchfließt.

117. Dann spielt die chemische Verarbeitung der durchgegangenen Stoffe innerhalb der Zellen eine bedeutende Rolle bei der Stoffaufnahme. Dies kommt namentlich für die mineralischen im Bodenwasser gelösten Nährstoffe in Betracht. An sich muß ja offenbar der Vorgang des Stoffaustausches durch eine Membran hindurch dann eine Grenze haben, wenn die Flüssigkeit hüben und drüben in Folge des Austausches ganz gleichartig geworden ist. Die Ungleichheit hat den Anstoß zu der Bewegung gegeben; ist sie durch Vollzug der Bewegung beseitigt, so hat die Sache ein Ende.

Auch die Aufnahme von Nährstoffen in die Wurzel oder in irgend welche andere Organe würde ihr Ende erreichen, sobald dieselben in den Wurzelzellen und in der Bodenlösung in gleicher Konzentration vorhanden sind. Hier muß also die chemische Verwandlung Platz greifen, um dieses Gleichgewicht niemals eintreten zu lassen und den Vorgang der Ernährung zu einem stetigen zu machen. Salpetersaurer Kalk, ein in dieser Form weitest verbreiteter Nährstoff der höheren Gewächse, tritt in die Wurzel ein. Daselbst ist etwas freie Oxalsäure vorhanden, welche in beinahe allen Organen durch die Oxydationsvorgänge der Atmung immer

wieder neu erzeugt wird. Es bildet sich oxalsaurer Kalk und freie Salpetersäure. Diese letztere wird mit Hilfe von stickstofffreier organischer Substanz in eiweißartige Körper verarbeitet, welche vor dem Rückgang durch die nach außen abschließenden Membranen gesichert sind, während der oxalsaure Kalk entweder zu kohlensaurem Kalk oxydiert teilweise nach außen abgegeben werden mag, oder in morgensternartigen Krystallen sich in den Zellen ablagert.

Diese Vorstellung von der Verarbeitung der salpetersauren Salze in der Pflanzenzelle hat in einzelnen Punkten noch etwas Hypothetisches, und sie wird ohne Zweifel durch weitere Forschungen noch korrigiert und geläutert werden; aber sicherlich ist sie ein Muster dafür, in welcher Richtung die Erklärung zu suchen ist. Die chemische Umwandlung, die zunächst gar nicht einmal so tiefgehend zu sein braucht, bewahrt ein jedes Element, aus dem der Pflanzenleib sich aufbauen soll, vor dem Zustande des Stillstandes, welcher ja mit dem Zustande des Todes gleichbedeutend sein würde.

118. Hieraus scheint der vielfach vorausgesetzte Satz zu folgen, daß die Anhäufung irgend eines Elementes im Pflanzenkörper ein Beleg für dessen physiologische Bedeutsamkeit sei. Ein Beleg für eine stattfindende, wenn auch noch so geringfügige Verarbeitung in neue chemische Formen ist sie allerdings. Aber man vergißt, daß dieses mit jenem nicht gleichbedeutend ist. Es ist ja immerhin denkbar, daß manche aufgenommenen Stoffe in gewissen Teilen der Pflanze wenigstens bis zu einem solchen Grade verarbeitet werden, daß dadurch das Ungleichgewicht, welches eine Voraussetzung ist für eine dauernde Aufnahme, immer wieder von neuem hergestellt wird; und die früher schon erwähnte bis zum Überdruß erwiesene Thatsache der Anhäufung von manchen entbehrlichen Mineralstoffen in der Pflanze, wie des Kiesels in den Gräsern, wie des Jods in gewissen Seetangen, kann umgekehrt als ein Beweis dafür angesehen werden. daß es sich wirklich so verhält.

119. Aber auch noch andere Folgerungen lassen sich aus den gleichen Gesetzmäßigkeiten ziehen. Stoffe, welchen die Fähigkeit abgeht, leicht durch Zellhäute oder überhaupt Membranen

hindurchzugehen, muß auch die Fähigkeit, zur Pflanzenernährung unmittelbar beizutragen, rundweg abgesprochen werden, sie mögen nun leicht löslich sein und im Übrigen noch so sehr dazu geeigenschaftet erscheinen. — Diese Folgerung hat ihre besondere Wichtigkeit für die sog. Humusstoffe, jene braunschwarzen, kohlenstoffhaltigen Bestandteile der fruchtbaren Acker- und Gartenerden, welchen man früher die direkte Nährfähigkeit ohne weiteres zuschrieb. Diese Stoffe sind in ihrer gewöhnlichen Form nicht zum Durchgang durch Membranen geeignet.

120. Eine andere Abweichung von dem Verhalten der Gase haben wir in Bezug auf die Druckverhältnisse zu verzeichnen, welche die Folge eines einseitigen Übergangs von Flüssigkeiten durch eine membranartige Scheidewand ist, und auch hieraus ergeben sich schwerwiegende Folgerungen. Wir nennen die Gase elastische Flüssigkeiten, weil sie zusammendrückbar sind und bei Nachlassen der Pressung ihren alten Raum wieder einnehmen. Die gewöhnlichen sog. tropfbaren Flüssigkeiten besitzen diese Eigenschaften nicht oder nur in sehr geringem Maße; sie sind nicht erheblich zusammendrückbar oder durch Verminderung der Pressung ausdehnbar; daher, wenn sie sich durch Wärme ausdehnen und einen größeren Raum einnehmen, sie dies mit unwiderstehlicher Gewalt thun, so daß man Bomben auf solche Weise sprengen kann.

Wenn ich eine mit Luft erfüllte feuchte Blase in eine Atmosphäre von Kohlensäure bringe, so geht, wie wir gesehen haben, die Kohlensäure rascher hinein, als die Luft heraus — die Blase schwillt an, und da die Wände der Blase von einem gewissen Punkte an Widerstand leisten, so ist die Gasmischung innerhalb der Blase von dieser Zeit an gepreßt. Da die elastischen Gase dieser Pressung nachgeben, so sind in diesem Zustande mehr Gasteilchen in dem gleichen Hohlraum der Blase vorhanden, als sonst darin Platz finden würden. Dies ist von Belang für den weiteren Verlauf des Vorgangs. Daß in der Raumeinheit innerhalb der Blase mehr Gasteilchen enthalten sind, muß nach unsern erprobten Vorstellungen über die Ursache des Durchgangs der Flüssigkeiten durch Membranen dem gepreßten Gase einen Vorsprung gewähren und in der That können wir leicht durch Versuche nachweisen, daß man auch Gase durch Membranen hindurch-

pressen kann. Es folgt also, daß wenn irgendwo in Folge des beschriebenen Prozesses bei dem Gasaustausch eine Druckverschiedenheit sich herausstellt, diese Druckverschiedenheit dem weiteren Verlauf des Prozesses eine naheliegende Grenze setzen muß.

Anders bei den gewöhnlichen Flüssigkeiten. Wenn ich an der Stelle der Luft in die Blase Eiweißlösung fülle und dieselbe in Wasser lege, findet dieselbe Ungleichheit des Durchgangs statt. Die Blase schwillt langsam aber mächtig an, weil ganz einseitig Wasser in sie hineindringt. Aber der Druck, den nun allmählich die Blasenhaut auf ihren Inhalt ausübt, vermag nicht diesen merklich zusammenzudrücken. Die einzige Reaktion, welche hier eintreten kann, ist eine Dehnung und ein endliches Zerspringen der Blase, und wenn eine Änderung in dem Stoffaustausch sich einstellt, so geschieht dies größtenteils weil die gedehnte Membran sich etwas abweichend von der ursprünglichen verhält. Jedenfalls geht hier der einseitige Vorgang sehr viel länger mit ungeschwächter Energie fort. Auch hierfür haben wir die experimentelle Bestätigung. Durch Membranen, welche für gewisse Flüssigkeiten durchlässig sind, lassen sich diese Flüssigkeiten doch nicht ohne weiteres hindurchpressen. Eine Schweinsblase, die, mit Eiweiß gefüllt, so viel Wasser in sich aufnimmt, läßt doch keinen Tropfen Wasser hinausgehen, auch wenn wir sie mit den Händen kräftig pressen.

121. Das Ergebnis davon ist natürlich, daß infolge des Durchgangs tropfbarer Flüssigkeiten durch Mebranen dauernd Spannungen innerhalb gewisser Zellen und ganzer zelligen Organe entstehen und bestehen bleiben können; und wir haben guten Grund anzunehmen, daß solche Spannungen für das Pflanzenleben von großer Wichtigkeit sind. Sind die Wurzelzellen wirklich einer mit Eiweißlösung gefüllten Blase vergleichbar, so müssen jene einen Zustand der Spannung annehmen können. In der That treffen wir auch diesen Zustand in keinem andern Organ in solch ausgesprochener Weise an, wie gerade in der Wurzel, so daß man in der Pflanzenphysiologie von einer eigentümlichen Wurzelkraft oder einem Wurzeldruck spricht, infolge von welchem Flüssigkeitssäulen bis in große Höhen des Stengels oder Stammes emporgehoben werden können. Eine Zeit lang

hat man sogar dieser Wurzelkraft einen großen und jedenfalls sehr übertriebenen Anteil an der Safthebung und dem Wasserstrom durch die Pflanze zugeschrieben, während wir doch auch Gewächse, die dauernd oder vorübergehend von einem erheblichen Wurzeldrucke nichts wissen, in Bezug auf die Wasserversorgung nicht hintangesetzt sehen.

122. Im Wesentlichen müssen wir uns das Zustandekommen dieses Saftstroms auf ganz andere Weise zu Stande kommend denken. Die Pflanze besteht eben zu allen Zeiten und ihrer ganzen Masse nach aus Materialien, denen die Eigentümlichkeit zukommt, sich mit Wasser vollzusaugen. Man denke nur an einen Docht, welcher thatsächlich aus feinen Pflanzenfasern (ungewöhnlich langgestrekten Zellen) gebildet ist, der ja auch Flüssigkeiten bis in große Höhen emporsaugt, weil gegenüber der Anziehung bei sehr großer Annäherung (sog. Haarröhrchenwirkung) die Kräfte der Schwere kaum noch in Betracht kommen.

Ähnlich, wie es schon solch' tote Fasern thun, nur mit ungleich mehr Energie, wirkt auch das lebende Pflanzengewebe, und wir dürfen nicht erstaunen, das Wasser und mit ihm die gelösten Nährstoffe bis auf die Höhen von 200 Fuß und mehr, die unsere größten Bäume erreichen, gehoben zu sehen. Daß der Strom zu einem stetigen wird, daran ist natürlich die Verdunstung des Wassers aus den Blättern und den anderen zärteren Organen der Gewächse schuld. Hemmen wir die Verdunstung durch Überstülpen einer Glocke über die Pflanze, oder betrachten wir eine Wüstenpflanze, z. B. eine Cactusart, die ihrer ärmlichen Wasserversorgung wegen von der Natur durch allerlei Vorkehrungen vor einer erheblichen Verdunstung geschützt ist, so hat auch der kräftige Wasserstrom ein Ende — das einmal vorhandene Wasser wird der Pflanze nun für längere Zeit erhalten und nur ganz langsam abgegeben. Unter einem solchen Zustande leiden die Pflanzen zunächst nicht merklich und zeigen sich auch wohl normal ernährt, so daß man schließen könnte, der Wasserstrom sei nicht notwendig für das Gedeihen der Gewächse, wenn nicht für gewisse Pflanzen Andeutungen über eine abgeänderte Zusammensetzung, namentlich auch in Bezug auf die mineralischen Nährstoffe, unter diesen Umständen vorlägen. Es ist daher wohl der Nutzen einer Saftströmung für

den Übergang und die Verteilung der Nährstoffe durch die Pflanze anzunehmen, obgleich unsere theoretischen Anschauungen zu der Folgerung zu zwingen schienen, daß die Nährstoffe des Bodens nicht mechanisch mit dem Wasser aufgesaugt, sondern unabhängig von diesem, ein jeder selbstständig nach den vorhin besprochenen Gesetzen des Durchgangs durch Mebranen, aufgenommen werden.

123. Was nun die Verdunstung selber anlangt, so kommt dieselbe eben dadurch zu Stande, daß die Pflanzen nach außen hin mit für Wasser durchdringlichen Zellhäuten bekleidet sind. Die feuchten Häute verdunsten die in ihnen und auf ihnen enthaltenen Wasserteilchen; diese nehmen unter dem Einfluß von Wärme und Trockenheit der umgebenden Luft Gasgestalt an, und die verloren gegangenen Teilchen werden dann wieder durch die Feuchtigkeit des Zellinhaltes ersetzt, welcher seinerseits hierdurch konzentrierter wird und auf die benachbarten Zellen weiter und weiter wirkt. Noch zutreffender erscheint diejenige Vorstellung, wonach der Ersatz der verdunsteten Wasserteile durch Fortleitung in den Zellwänden selber und namentlich innerhalb der langgestreckten haarröhrchenartigen Gefäßen, an denen hohe Pflanzen reich zu sein pflegen, geschieht, weil man durch Versuche neuerdings eine sehr große Geschwindigkeit der Wasserleitung durch die lebende Pflanze ermittelt hat.

Die Zellwände verschiedener Pflanzenteile sind nun aber in sehr verschiedenem Grade für Wasser durchdringlich, wie schon der bloße Augenschein lehrt, daß sie verschieden quellbar sind, und darnach regelt sich auch die Verdunstung aus den einzelnen Organen. Der Stamm und die älteren Stengelteile sind wohl geschützt durch vielfache Schichten des nicht quellbaren Kork- und Rindengewebes. Hier ist der Wasserstrom nur auf das Innere beschränkt, und Verdunstung findet nicht in merklichem Grade statt. Anders die jungen, vergänglichen und vielzerteilten Organe mit ihrer großen Oberfläche, vor allem die grünen Blätter. Diese sind höchstens geschützt durch eine schwer benetzbare wachsartige Oberhaut, aber sie sind zugleich durch ganz besondere Einrichtungen zur Verdunstung begabt.

124. Zwischen den Blattzellen ist ein System von Hohlräumen nachweisbar, das nach außen in die schon erwähnten

Spaltöffnungen mündet. Hierin zirkuliert, begünstigt durch häufige Temperaturschwankungen, ein Luftstrom, so daß die fragliche Einrichtung genau wie eine enorme Vergrößerung der verdunstenden Oberfläche wirkt.

Die Fähigkeit der Spaltöffnungen, sich unter Umständen zu erweitern, unter Umständen sich zu verengen oder gar zu schließen, wirkt dabei, die Verdunstung in zweckmäßiger Weise regelnd. Denn man hat mit Hilfe des Vergrößerungsglases beobachtet, daß die Spaltöffnungen enger werden, wenn die Zellen nur schwach mit Saft erfüllt und schlaff sind, während die Erweiterung derselben und damit eine Erleichterung der Luftumspülung eintritt, wenn das Gewebe von Wasserreichtum strotzt, so daß schon aus diesem Grunde eine welke, wasserarme Pflanze vor weiteren Verlusten an diesem allvermittelnden Agenz bis zu einem gewissen Grade geschützt ist. — Dazu wirken die wasseranziehenden und festhaltenden Kräfte des immer konzentrierter werdenden Zellsaftes in der gleichen Richtung, so daß auf diese Weise die Pflanzen der launischen Witterung eher trotzen und ungewöhnlich lang dauernde Zeiten des Durstes mit auffallender Widerstandskraft überdauern können.

Natürlich alles hat sein Ende, und trotz alledem können Pflanzen aus Wassermangel schließlich zu Grunde gehen, und natürlich diejenigen am leichtesten, die am unvollkommensten gegen Verdunstung geschützt sind, und dann namentlich auch die, welche in Zeiten des Wasserüberflusses sich nicht einen großen Vorrat an Feuchtigkeit aufzuspeichern vermögen. Deswegen sehen wir kleine einjährige krautartige Gewächse, welche sozusagen ganz Oberfläche sind, in Zeiten der Dürre rasch dahinwelken, während unsere Bäume mit ihrem großen Holzkörper, in dem sie große Wassermassen zu hegen vermögen, noch kaum ernstlich zu leiden beginnen.

125. Auch noch in Bezug auf die Aneignung der in der Bodenfeuchtigkeit gelösten Nährstoffe durch die Wurzel haben wir einige gewichtige Folgerungen zu ziehen. Wir haben gesagt, daß das Wasser überall am leichtesten die membranartigen Zellwände durchdringe, und daß auch diejenigen mineralischen Salze des Bodens, welche als Nährstoffe anzusehen sind, fast ausnahmslos demselben nachstehen. Man könnte hieraus zu schließen geneigt

sein, daß immer eine verdünntere Lösung in die Pflanze eindringe als im Boden sich vorfindet, weil das Wasser eben vor den in ihm gelösten Bestandteilen einen Vorsprung erhalten müsse. Stände dieser Satz fest, so hätte man auch einen Maßstab in der Hand, um bei gegebener Verdunstungsgröße das Maximum von Nährstoffen berechnen zu können, das von einer Pflanze aus einem Boden, in welchem Lösungen von bekannter Konzentration zirkulieren, aufgenommen werden könnte. Ob diese Grenzbestimmung erlaubt ist, erscheint aber von Wichtigkeit, weil man mit Hilfe derselben den Beweis unternehmen könnte, daß die Pflanzen ihre Nährstoffe gar nicht vorzugsweise aus Bodenlösungen schöpfen.

Bei näherem Hinblick erweist sich der Schluß dann aber als trügerisch. Man braucht nur die Lage einer untergetauchten Wasserpflanze ins Auge zu fassen, um sich hierüber klar zu werden. Eine solche unterhält keine Verdunstung und damit keinen stätigen Wasserstrom. Neues Wasser nimmt sie nur auf in dem Maße, als sie wächst. Trotzdem sammelt sie Mineralstoffe in sich an in einem weit größeren Verhältnis, als das umgebende Wasser sie enthält, und dies betrifft sogar entbehrliche Substanzen. Jene muß also auch diese Stoffe in stärkerem Verhältnisse aufgenommen haben, als sie in dem umgebenden Wasser vorhanden waren. Eine konzentriertere Lösung strömt gleichsam in die Zellen ein, als ihnen eine von außen dargeboten wird.

126. In der That läßt sich ja ein Zustand der Verdünnung des Zellsaftes denken, in welchem er keine weitere Anziehungskraft für Wasser mehr geltend macht. Dann wird auch der Übertritt von Wasser durch die Zellhaut aufhören, so durchlässig diese für dasselbe immer sein mag. Wenn zu gleicher Zeit übergeführte Mineralstoffe rasch der chemischen Verarbeitung unterliegen, so wird für diese der Übergang ein bleibender sein, er mag auch an sich noch so langsam von statten gehen.

Und die Ernährung der Wasserpflanzen ist nicht das einzige Beispiel dafür, daß es sich wirklich so bei der Stoffaufnahme verhält. Zum Glück ist das gleiche Verhalten auch für die Wurzel der Landpflanzen nachgewiesen worden. Während man aus unvollkommenen älteren Experimenten de Saussures geschlossen hatte, daß immer verdünntere Lösungen von der Wurzel

aufgesogen, als ihnen dargeboten werden, liegen jetzt sehr zuverlässige neue Versuche vor, welche beweisen, daß es dabei lediglich auf die Konzentration ankommt. De Saussure hatte verhältnismäßig konzentrierte Nährlösungen verwendet, welche überhaupt für alle Pflanzen wenig zuträglich sind, und jedenfalls zu reichlich mit den Stoffen versorgen, als daß so schnell eine Verarbeitung in den Zellen eintreten könnte.

Wilhelm Wolf nahm an Stelle dessen verdünnte Lösungen, wie sie etwa den Pflanzen von der natürlichen Ackererde geboten werden mögen, und siehe da, das vermeintliche Gesetz verkehrte sich in sein Gegenteil, so daß unter Umständen eine weit konzentriertere Lösung von Kalisalpeter oder von einem phosphorsauren Salze aufgesogen wurde, als man der Pflanzenwurzel dargeboten hatte. Es ist mithin auch keineswegs erlaubt, die Menge für eine Ernte zur Verfügung stehender Nährstoffe so zu berechnen, daß man die während der Vegetationsdauer von den Pflanzen verdunstete Wassermenge als einfach mit der Konzentration der Bodenlösung in die Pflanze aufsteigend annimmt. Mit der gleichen Wassermenge kann aus verdünnten Bodenlösungen die vielfach größere Nährstoffmenge aufgesogen werden.

127. Der Übergang der Nährstoffe vom Boden oder aus Nährlösungen in die Pflanze ist also sowohl nach den alten Versuchen von de Saussure als nach den neueren von W. Wolf keine einfache Aufsaugung des zufällig Gegebenen, denn sonst müßten ja die Konzentrationen ungeändert geblieben sein. Andererseits kann auch die Erklärung nicht lediglich aus den Gesetzen des Durchgangs von Flüssigkeiten durch Membranen und die chemische Verarbeitung gegeben werden, obwohl dieselben, wie wir soeben gesehen, von dem größsten Einflusse sind. Dies ist unmöglich, weil sonst die Erscheinung durch Veränderung der Konzentration nicht so vom Grund aus verändert werden könnte, während doch der Bedarf und die damit in Beziehung stehende chemische Verarbeitung die gleiche bleibt. Auch wäre in diesem Falle die Anhäufung so vieler zufälligen Bestandteile, wie sie die Aschenanalysen der Gewächse verunzieren, unmöglich.

Die Wahrheit ist eben, daß alle diese Momente zusammenwirken. Die Flüssigkeitsbewegung durch Membranen tritt in den

Vordergrund in jungen Pflanzen und herrscht beinahe ausschließlich in untergetauchten Wasserpflanzen. Die mechanische Aufsaugung tritt mehr hervor in älteren und hochgewachsenen Pflanzen und ist ohne Zweifel ein wirksames Hilfsmittel für den Transport der Nährstoffe in die verdunstenden Organe, die ja viel zu weit von den Wurzeln entfernt sind, um selbst ihre chemischen Anziehungen geltend zu machen.

128. Besteht nun der Stoffaustausch der Pflanze, von dem wir in diesem Abschnitte handeln, so ganz überwiegend in einer Stoffaufnahme, dem eine Stoffabscheidung nach außen hin nicht in erheblichem Maßstabe gegenübertritt? — Gewiß die Pflanze wächst, so lange sie gedeiht, und erreicht niemals einen Abschluß der Größe nach, über den hinaus sie wie das Tier wohl noch lebte und webte, aber nicht mehr an Masse zunähme. Daraus folgt zum mindesten, daß die Nährstoffaufnahme über die Ausscheidungen überwiegen müssen.

Trotzdem ist schon bei Besprechung des tierähnlichsten Vorganges in der Pflanze, der Atmung, von der Kohlensäureausscheidung die Rede gewesen. Dieses Gas geht in die umgebende Luft, unter Umständen, d. h. wenn der Boden nicht schon verhältnismäßig kohlensäurereicher ist, auch durch die Wurzeln in diesen über. — Auch von der Sauerstoffentwickelung aus den grünen Pflanzenteilen im Lichte kann man als von einer Ausscheidung reden.

Im übrigen spielen aber in der That die Ausscheidungen im Pflanzenreiche eine untergeordnete Rolle. Nicht, als ob es hier ganz und gar an Endprodukten des Stoffwechsels, die dem Organismus zu nichts weiter mehr nütze sind, ganz und gar fehlte; aber dieselben werden häufig in den pflanzlichen Geweben abgelagert, so daß es nur in seltenen Fällen zu eigentlichen Ausscheidungen nach außen hin kommt. Ausschwitzungen sind ohnehin beinahe immer als krankhafte Zustände aufzufassen oder haben Zwecke, welche ganz außerhalb der Ernährung liegen.

Gleichwohl ist es nicht schlechthin als unwissenschaftlich zu bezeichnen, von Wurzelausscheidungen zu reden, wenn auch weitgehende praktische Folgerungen aus einem solchen Zugeständnis nicht gezogen werden dürfen. Überall, wo Pflanzenorgane an

tropfbare Flüssigkeiten grenzen, da werden sich auch die Diffusionsgesetze nicht bloß für die Neuerwerbung von Stoffen, sondern auch für Stoffverluste geltend machen. Für ganz innerhalb wässriger Flüssigkeiten lebende Organismen ist dieses Verhalten auch mit Händen zu greifen, namentlich für niedrige Pilze, wie z. B. die gewöhnliche Hefe. Hier kann sogar der ganze Gärungsumsatz als Resultat des Stoffwechsels dieser kleinen Wesen mit Erfolg aufgefaßt werden. Und dann sind natürlich Weingeist und Kohlensäure die Hauptausscheidungen, die eben so stetig in die umgebende Gärungsflüssigkeit ausgegeben werden, als die Aufnahme von Zuckerteilchen erfolgt. — Also prinzipiell muß die Wechselwirkung immer zugestanden werden; nur darf man nicht zu ermessen unterlassen, welche Dimensionen die Ausscheidung verbrauchter Stoffe thatsächlich einnimmt. Die Gärungspilze können uns hierfür am allerwenigsten als Musterbild dienen, da der Stoffwechsel in diesen vom Sauerstoff der Luft abgeschlossenen Wesen ganz ungewöhnliche, gleichsam krankhafte Verhältnisse annimmt.

129. Von wirklichen Wurzelausscheidungen bei den höheren Gewächsen wissen wir allerdings thatsächlich sehr wenig, obgleich man bei der Wasserkultur ja alle Mittel in den Händen hat, um einem solchen Vorgange nachzugehen. Wohl ist beobachtet, daß von einem Salze, dessen einer Bestandteil der Pflanze in höherem Maßstabe zur Ernährung dient als der andere, der schlecht verwertbare in einer neuen chemischen Form in der Nährlösung wiedererscheint. Dahin ist zu rechnen namentlich die Ausscheidung von kohlensaurem Kalk nach einer Ernährung mit dem salpetersauren Kalksalze. Ebenso werden die minder verwertbaren Nährstoffe wieder zu einem Teile ausgeschieden, wenn man eine Pflanze aus einer konzentrierteren Nährlösung in reines Wasser versetzt. Aber organische Stoffe hat man in den Nährlösungen wohl nur infolge der Verletzung und Fäulnis einiger Wurzelfäserchen wahrgenommen.

Jedenfalls können jene älteren Anschauungen nicht zu Recht bestehen, nach welchen die verschiedenen Feldgewächse regelmäßige und in jedem besondern Falle eigentümliche Ausscheidungen machen, welche für die nämliche Pflanzenart schädlich, für eine andere gleichgültig und vielleicht gar nützlich sein könnten. Man suchte auf diese

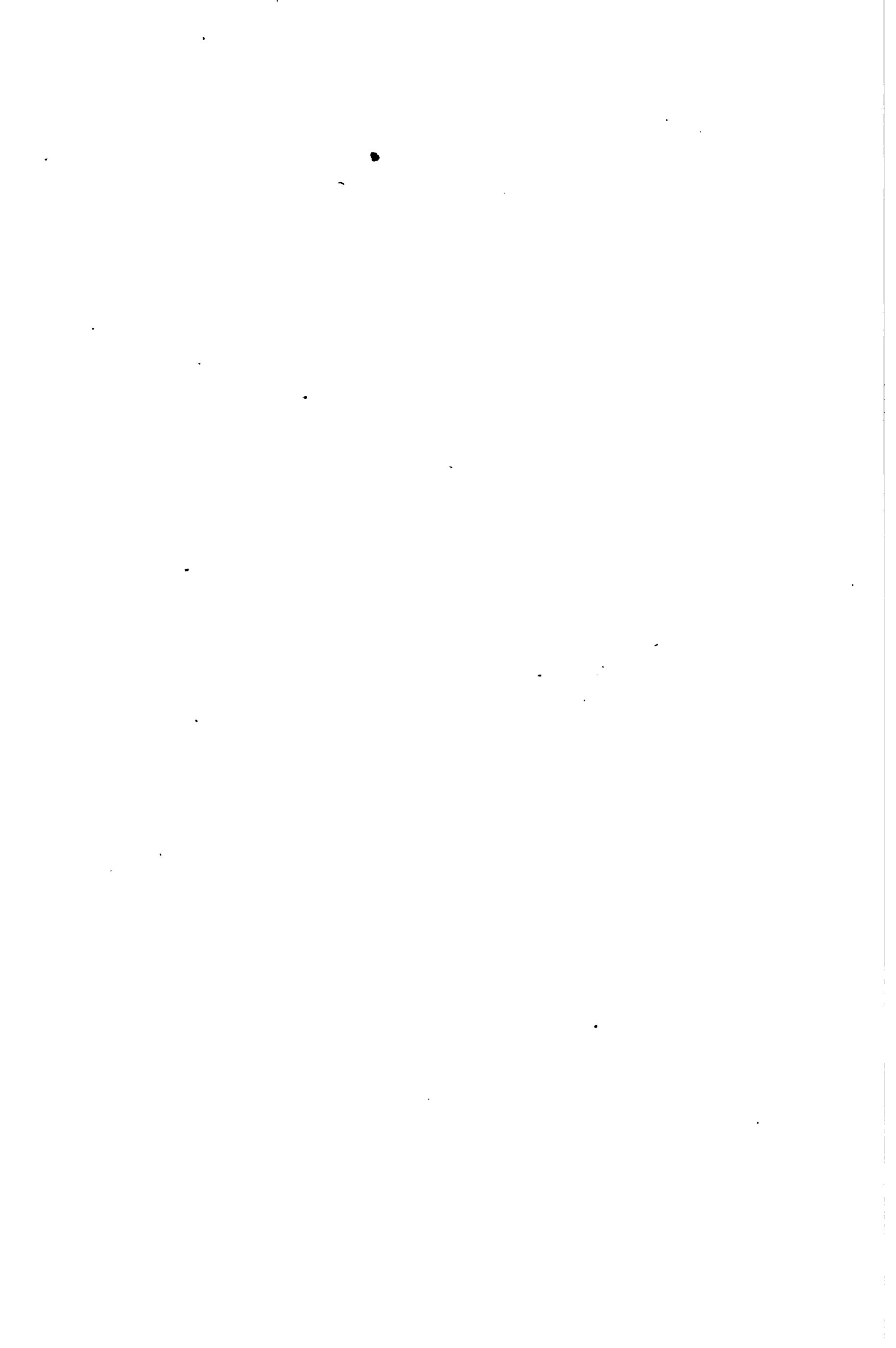
Weise die sehr entwickelte landwirtschaftliche Methode des Abwechselns mit den Feldfrüchten auf demselben Felde, des sog. Fruchtwechsels, zu begründen, für welche wir nun die weit näher liegende und durchaus wissenschaftliche Erklärung in Anspruch nehmen, daß die Bewurzelung und dann auch der Nährstoffbedarf der einzelnen Gewächse verschiedene sind, infolge wovon das eine noch Nahrung findet, wo das andere schon nicht mehr gedeiht, das eine diese, das andere jene Bodenregionen in Anspruch nimmt. Auch geht bekanntlich die sog. Unverträglichkeit einer Pflanze mit sich selber nur bis auf einen gewissen Grad, und in gewissen Bodenarten oder in einem bestimmten Stadium landwirtschaftlicher Entwickelung bringt man allerdings Roggen nach Roggen oder Mais nach Mais, ohne daß hier die Pflanzen durch die Excremente ihrer vorausgegangenen Geschwister vergiftet würden. Die sog. Unverträglichkeit mit sich selbst wird wohl in den allermeisten Fällen auf der Begünstigung von Schädlingen, die sich in einem stets mit derselben Pflanze bebauten Boden festnisten, beruhen.

Freilich die Theorie des Fruchtwechsels ist eine sehr vielfältige und mit dem Gesagten keineswegs abgeschlossene. Wenn man die Sache erschöpfender behandeln will, so muß man auch von der Lockerung des Bodens, von der Ausrottung der überwuchernden Unkräuter reden. Wir haben nur hier die Gelegenheit benutzt, um einer irrtümlichen Anschauung über Wurzelausscheidungen, die eine gewisse Rolle in der Geschichte unserer landwirtschaftlichen Erkenntnis gespielt hat, entgegenzutreten.

---

6. Abschnitt.

Wärme und Pflanzenwachstum.



130. Daß alle einzelnen Vorgänge in der Pflanze von Wärmeverhältnissen abhängig sind, ist, da wir annehmen, daß jene auf chemische und physikalische Prozesse zurückführbar sein müssen, für uns selbstverständlich. Teilweise haben wir von einer solchen Abhängigkeit auch schon im Bisherigen ausdrücklich Notiz genommen. Bei jedem chemischen Vorgange ist diese Abhängigkeit vorhanden. Nicht umsonst notieren unsere analytischen Handbücher: diese Einwirkung ist in der Wärme vorzunehmen, jene in der Kälte. Wer auf diese Notizen keine Rücksicht nimmt, der wird eine ganze Reihe von Prozessen nicht oder anders verlaufen sehen, als seine Darstellung bezweckte.

Das Wasser besteht aus den beiden gasförmigen Grundstoffen: Wasserstoff und Sauerstoff. Aber bei gewöhnlicher Temperatur kann ein bloßes Gemisch beider Gase ungehindert als solches bestehen, ohne daß jemals daraus Wasser wird. Wir müssen die Gase auf einen hohen Wärmegrad bringen, auf die sog. Entzündungstemperatur, damit eine chemische Verbindung vor sich geht und aus den beiden Gasen die allbekannte tropfbare Flüssigkeit wird.

Wenn wir aber Wasser auf noch höhere Temperatur erhitzen, was wir nur in sehr unvollkommener Weise mittelst rasch wiederholten Durchschlagens von elektrischen Funken zu bewirken vermögen, so kann man die Verbindung wieder teilweise in ihre Bestandteile zerlegen. Ähnlich bei den meisten anderen chemischen Vorgängen.

Man kann diese alle als von zwei Wärmegraden abhängig bezeichnen, unterhalb des einen und oberhalb des anderen sie nicht vor sich gehen. Die beiden Grade stellen die beiden Temperaturgrenzen des Vorganges dar.

131. Im Grunde ist das Verhalten der lebenden Wesen

gegen die Wärme ein durchaus ähnliches. Nur daß die einzelnen Vorgänge in viel empfindlicherer Weise von den Temperaturen abhängig sind, vermutlich weil sie viel verwickelterer Natur sind und durch eine ganze Reihe von chemischen Einzelprozessen bedingt. Natürlich verstehen wir dabei auch nicht in irgend einem einzelnen Falle, warum gerade dieser oder jener Wärmegrad die Grenze bezeichnet, aber doch, wie wir annehmen müssen, nur, weil unsere Einsicht in die Natur des betreffenden Lebensvorganges eben eine sehr beschränkte ist.

Und da dasjenige, was wir Leben eines Wesens nennen, doch nichts weiter ist als eine Anzahl von einzelnen Lebensvorgängen, so muß auch das Leben innerhalb ähnlicher Grenztemperaturen eingeschlossen sein, vorausgesetzt, daß es sich nicht um Vorgänge handelt, die ohne Schaden für den Organismus längere oder kürzere Zeit aufgehoben bleiben können.

132. Wenn so die Grundzüge der Beeinflussungen des Pflanzenlebens von der Wärme ohne weiteres verständlich sind, so müssen wir uns im einzelnen doch überall an die Erfahrung halten, um etwas praktisch Richtiges und Wichtiges über diese Abhängigkeiten aussagen zu können. Wir können wohl von vornherein aussprechen, daß von den Pflanzen so hohe Temperaturen nicht werden ertragen werden können, bei welchen Eiweiß gerinnt, oder bei denen gar das Wasser verdampft; denn gelöstes Eiweiß und flüssiges Wasser sind eben dem Leben ein für alle Male unentbehrlich; desgleichen werden auch unter dem Gefrierpunkt des Wassers, welcher übrigens innerhalb des lebenden Gewebes aus naheliegenden Gründen nicht unbedeutend niedriger ist als der Nullpunkt unseres Thermometers, sich Lebenserscheinungen nicht mehr abspielen können. Aber es frägt sich, inwieweit bedeutet hier ein Stillestehen des Uhrwerks eine definitive Vernichtung des Mechanismus, und welche engere Grenzen sind außer jenen weiteren ganz allgemein vorherzusehenden noch zu verzeichnen?

133. Sodann muß unterschieden werden, zwischen Eigenwärme des lebenden Wesens und der Temperatur der Umgebung, und das ist sogar das Erste, über das wir klar zu werden uns bestreben müssen. Die höheren Tiere vertragen bekanntlich nur eine Temperaturschwankung ihres eigenen Leibes von wenigen

Graden, eine sehr kleine nach oben zu, eine etwas größere nach unten; aber trotzdem leben Hunde in tropischen und arktischen Klimaten, bei Temperaturen, die vielleicht 70° Celsius auseinander liegen. — Dies ist möglich durch die beträchtliche Eigenwärme der warmblütigen Tiere und durch die Regelung dieser Eigenwärme nach den äußeren Verhältnissen. Bei niedriger Temperatur atmen die Tiere rascher und erzeugen so bis auf einen gewissen Punkt, bei welchem die Einrichtung des Organismus versagt, genau diejenige Wärmemenge mehr, die sie nach außen hin unter diesen ungünstigeren Umständen mehr einbüßen. Im allernächsten Zusammenhange damit steigert sich das Nahrungsbedürfnis der Tiere mit der größeren Kälte, da eben Nahrung zu einem großen Teil Brennstoff bedeutet. Auf diese Weise finden wir die Tiere, obgleich gegen Temperaturänderungen ihres eigenen Leibes aufs äußerste empfindlich, doch scheinbar unabhängig von den Wärmeverhältnissen und namentlich bei dicker Behaarung oder Bekleidung sehr hart gegen große Kälte.

134. Findet sich bei den Pflanzen auch etwas Ähnliches? — Dieselben atmen und tragen daher das Mittel Eigenwärme zu erzeugen in sich. Allein die Größe dieser Atmung ist in der einfacher organisierten Pflanze nicht in jener merkwürdigen Weise reguliert, daß Kälte Wärme erzeugt und wieder Wärme Kälte. Die Pflanzenatmung steigt vom Gefrierpunkt ab ungefähr in demselben Verhältnisse wie die gewöhnlichen Temperaturgrade und steigt so lange, bis die Pflanze durch die Erwärmung stirbt. — Wohl kann man an einzelnen Pflanzen in der Blüte an den sich befruchtenden Teilen eine Erhebung ihrer Eigenwärme um viele Grade über die äußere Temperatur wahrnehmen; aber dieser Vorgang wickelt sich nur ab, wenn schon an sich eine günstige Temperatur in der Umgebung herrscht. Im allgemeinen ist die eigene Wärmeerzeugung der Pflanzen ganz gering, und sie ist gerade dann ganz verschwindend, wenn diese am meisten einer Erhöhung ihrer Eigenwärme bedürftig wären. Wir können also für unsere Betrachtungen, namentlich da, wo es sich um das praktisch wichtigere Verhalten bei niedrigen Wärmegraden handelt, von einer Eigenwärme der Pflanze absehen und die Temperatur der Umgebung dafür setzen.

135. Daraus folgt nun schon, daß die Gewächse für eine Veränderung ihrer Eigenwärme ungleich unempfindlicher sind als die Tiere, selbst wenn wir unter diesen die kaltblütigen, die eine Art Zwischenstellung einnehmen, dem Vergleiche zu Grunde legen. Denn wäre beides vereint, Empfindlichkeit gegen Veränderung der Eigenwärme und Unfähigkeit, dieselben den äußern Umständen entgegen zu regulieren, so könnten auf unserm Planeten höchstens einige Inseln der Südsee von solchen Organismen bewohnt sein.

136. Aus dem Mangel der Erzeugung einer beträchtlichen Eigenwärme folgt auch noch etwas anderes für die Lebensbedingungen der Pflanzenwelt. Bei den Gewächsen wird die natürliche oder künstliche Bekleidung mit schlechten Wärmeleitern lange nicht die Bedeutung haben können als bei den Tieren. Die letzteren können mit einem dichten Pelze versehen, oder gehörig vermummt, beinahe beliebig niedrige äußere Kälte ertragen, da der Wärmeverlust nach außen auf diese Weise ebenso vermindert wird, als herrschte eine hohe sommerliche Temperatur. — Was soll aber einer Pflanze im Winter die Bekleidung nutzen, da in dieser Jahreszeit ihre Wärmeerzeugung ohnehin eine unmerkliche ist? — Allerdings wir binden unsere Rosenstöcke und andere empfindliche Gewächse im Winter in Stroh ein, aber nur um sie vor starker Ausstrahlung, infolge deren sie sonst noch kälter werden würden als ihre Umgebung und auch sonst vor dem schroffen Temperaturwechsel der äußeren Umgebung ein wenig zu schützen. Niemals können wir hoffen auf diese Weise ein Gewächs zu bestimmen, gleich wie im Sommer zu ergrünen und lustig zu vegetieren, während der Wechsel der Jahreszeiten für das Leben fast aller warmblütigen Tiere beinahe spurlos vorübergeht.

137. Die einzelnen hervorstechenden Lebenserscheinungen der Pflanzenwelt sind in ziemlich — auf einige Unterschiede wird später (sub. 145) aufmersam zu machen sein — ähnlicher Weise von der Skala der Temperatur abhängig. Atmung wie Wachstum, Sauerstoffausscheidung aus den grünen Pflanzenteilen wie der Vorgang des Ergrünens heben bei 0° oder wenige Grade unter oder über dem Nullpunkte an, um meistens bis gegen 30° C. hin zuzunehmen und nahe bei oder wenig über 40° C. zu erlöschen. Weit unter-

halb Null und oberhalb 40° sind bei allen höheren Gewächsen die positiven Lebenserscheinungen erloschen; aber wenn man die Pflanzen nur kürzere Zeit bei solchen außerordentlichen Temperaturen erhält, so braucht der Tod noch nicht einzutreten. Also die bloße Fähigkeit, neuerdings zum Leben zu erwachen, ist durchweg innerhalb etwas weiterer Temperaturgrenzen eingeschlossen

138. Die größten Unterschiede, die dann zu verzeichnen sind, betreffen weit mehr die verschiedenen Pflanzenteile, als die verschiedenen Pflanzenarten. Lebhaft vegetierende, d. h. also sprossende, wachsende Organe sind ungleich empfindlicher als die zeitweise vom Leben sich abschließenden Dauerorgane. Was von unseren Gewächsen im europäischen Winter übrig bleibt, jene ausgetrockneten scheinbar toten Gewebe des Samens, und bei mehrjährigen Gewächsen, des Stengels und der Wurzel mit ihren schlummernden Knospen ist in hohem Grade widerstandsfähig gegen außerordentliche Temperaturen, namentlich auch gegen grimmige Kälte. Und die Armut an dem allvermittelnden Wasser ist ein gutes Merkzeichen für die große Widerstandsfähigkeit. Wenn wir die Samen nicht trocken aufbewahren, wenn wir sie im Wasser quellen lassen, und wenn sie dann in Augenblicken günstiger Wärmeverhältnisse zu keimen beginnen, dann ist es mit jener außerordentlichen Widerstandskraft vorbei, und die Keimpflanzen erliegen manchmal dem ersten Froste.

Ebenso wenn die noch dürren Knospen in den warmen Tagen eines vorzeitigen Frühlings aus dem Holze des Stammes Feuchtigkeit in sich einsaugen und sich zu entfalten beginnen, dann erliegen sie, nachdem sie doch im Winter 20° Kälte ohne Schaden ertragen haben, einer einzigen Frostnacht. Machen doch diese bekannten Erscheinungen einen guten Teil der Befürchtungen unserer ackerbauenden Bevölkerung aus, und ist doch die Zeit der Aussaat der empfindlicheren Gewächse in unserm praktischen Betriebe am meisten durch die Voraussicht von stetigeren Wärmeverhältnissen bestimmt.

139. Freilich haben auch die einzelnen Pflanzenarten Verschiedenheiten in ihren Wärmebedürfnissen aufzuweisen, und namentlich ist ihre verschiedene Empfindlichkeit gegen tiefe Temperaturen bekannt genug. Raps, Roggen und Weizen bauen die Landwirte

im gemäßigten Klima als Winterfrucht, weil sie wissen, daß bei diesen auch die aufgegangene Saat herbe Fröste ohne Schaden erträgt. Tritt dabei in harten und schneearmen Wintern eine Schädigung, das sog. Auswintern ein, so liegt dies nicht einmal vorzugsweise an dem Erfrieren der widerstandsfähigen Pflänzchen, sondern ist vielmehr in einem Zerreißen der Würzelchen, in einem Abheben der Pflanzen von dem nährenden Grunde infolge der wiederholten Ausdehnung der Erde durch das Gefrieren begründet. Es ist vielmehr ein Vertrocknen wie ein Erfrieren. — Andere gegen den Frost empfindlichere Gewächse wie die Kartoffeln und der Mais oder gar Tabak, Gurken und Kürbisse können natürlich nicht in dieser Weise kultiviert werden.

Viele niedrige Gewächse, wie namentlich die in warmen Quellen lebenden grünen und braunen Algen, sind dann durch eine verhältnismäßig große Unempfindlichkeit gegen höhere Temperatur ausgezeichnet, obwohl hierbei auf Grund von ungenauen Beobachtungen Übertreibungen mit unterlaufen, — eine Thatsache, die übrigens kaum ein erhebliches praktisches Interesse besitzt.

140. So wenig wir nun im allgemeinen im stande sind, die Gründe anzugeben, warum diese oder jene Temperaturgrenzen dem Bestehen der Pflanzenwelt gezogen sind, so sind doch die Tötungsursachen bei niedrigen Wärmegraden in neuerer Zeit der Gegenstand von freilich keineswegs abgeschlossenen Untersuchungen geworden. Es handelte sich dabei zunächst darum, eine volkstümliche und liebgewordene Vorstellung über den Grund des Erfrierens zu bekämpfen, ohne daß es bisher gelungen ist. etwas in jeder Hinsicht Befriedigendes an die Stelle jener zu setzen. Eine in physikalischen Dingen noch etwas naivere Zeit dachte sich das Erfrieren der Pflanzen einfach als eine Folge der Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren. Daß saftreiche Pflanzenteile bei starkem Froste infolge des Gefrierens ihres Wassers starr werden, ist eine jedermann zugängliche Thatsache. Solche steifgefrorenen Pflanzenteile welken dann meistens beim Aufthauen rasch ab und sind dann abgestorben. Man dachte sich also einfach, daß der sich beim Gefrieren ausdehnende wässerige Zellinhalt die zarte Hülle sprenge, genau wie man gesehen hatte, daß auf diese Weise starke Wasserflaschen zerbrochen werden.

Nun hätte vielleicht schon der bloße Hinblick auf die Thatsache, daß verschiedene Gewächse bei sehr verschiedenen Temperaturen und, wie ich hinzusetzen kann, bei einer sehr verschieden starken Eisbildung in ihrem Innern erfrieren, daß die zarten Bewohner unserer Treibhäuser einem Maienreif zum Opfer fallen, während eine Kohlstaude den ganzen rauhen deutschen Winter, ohne viel Schaden zu nehmen, im Freien verbringt, von dieser Erklärung, oder wenigstens von der Ausschließlichkeit derselben abmahnen sollen. Sodann sind ja die Zellhäute sehr elastisch und werden durch Dehnung nicht so leicht gesprengt, wie z. B. aus der Volumvergrößerung eines von Saft strotzenden Pflanzenstückes im Gegensatz zu dessen welken Zustande hervorgeht. Selbst das Steiffrieren ist lange nicht ein ganz sicheres Merkmal für das Erfrieren, wenn auch gewiß eine Chance mehr für den Eintritt dieser Art des Absterbens.

Man hat der Frage eine nähere wissenschaftliche Untersuchung gewidmet, und das nächste Resultat der einschlagenden Bemühungen ist gewesen, daß sehr viel abzuhängen schien von der mehr oder minder großen Plötzlichkeit des Aufthauens.

141. Als entscheidend wurde früher — nicht ohne Übertreibung — hingestellt die Langsamkeit der Temperaturübergänge. Wenn man eine hartgefrorene Rübe in warmes, aber an sich noch unschädliches Wasser wirft, so ist sie unrettbar verloren. Der Zellsaft samt etwa darin gelösten Farbstoffen, tritt teilweise aus. An die Luft gebracht, wird sie rasch schlaff und zersetzt sich. Niemals ist sie wieder fähig, Blattknospen aus sich heraus zu entwickeln. Aber ganz dieselbe steifgefrorene Rübe konnte, zufolge dieser Untersuchungen wenigstens, dem Leben erhalten bleiben, wenn man das Aufthauungsgeschäft sehr langsam vornimmt, dadurch, daß man sie in eiskaltes Wasser legt und dieses sich sehr langsam erwärmen läßt. Eine ganze Reihe von bekannten Erfahrungen und gärtnerischen Regeln besagt dasselbe und vielleicht deshalb hat man es mit dem genauen Beweis nicht so gewissenhaft genommen. Ein nicht allzu empfindliches Blatt im gefrorenen Zustande mit den warmen Fingern angefaßt, geht wohl genau an der berührten Stelle zu Grunde, während andere Teile und benachbarte Blätter, sich selbst überlassen, noch gerettet werden können. Gefrorene Krautköpfe wirft man auf einen Haufen

zusammen, damit die Erwärmung durch die Sonne nur langsam einwirken kann u. s. w.

142. Andererseits hat man die Thatsache nachzuweisen vermocht, daß auch bei den empfindlichsten exotischen Gewächsen ein Erfrieren — wohl zu unterscheiden von langsamen Absterben beim dauernden Verweilen bei ungünstig niedrigen Temperaturen — nur eintritt, wenn der Nullpunkt wirklich erreicht und überschritten wird, d. h. wohlverstanden von der Pflanze, so daß wirklich eine Eisbildung im Innern der Pflanze statt hat. Die umgebende Luft kann immerhin noch etwas wärmer sein, wenn in klaren Nächten die festen und namentlich die fein verteilten Gegenstände durch Strahlung ihre Temperatur so weit erniedrigen, daß der sich an ihnen niederschlagende Thau gefriert und sie, wie wir uns ausdrücken, bereifen. Diese Erfahrung spricht natürlich dafür, daß die tiefgreifende Änderung, welche das Wasser bei Null Grad durch sein Starrwerden erleidet, etwas mit dem Erfrieren zu thun hat. Dadurch wird jedenfalls eine abweichende, dem Leben unzuträgliche Anordnung der die Zellen aufbauenden Stoffteilchen bewirkt, und es ist nur die Frage, ob diese Teilchen nach Aufhebung des Banns ihre alte, natürliche Gleichgewichtslage wiederfinden. Hierzu ist wie zu einem jeden chemischen Vorgange eine gewisse Zeit erforderlich, welche bei verschiedenen Pflanzen sehr verschieden groß sein kann.

Sodann ist die mehrfach bestätigte Thatsache von Gewicht, daß manche erfrorene Pflanzen, welche durch Aufthauen zu retten sind, doch durch tiefere Kältegrade unwiderruflich erfrieren können, und daß sie manchmal wohl ein einmaliges, nicht aber ein wiederholtes Gefrieren ohne Schaden ertragen. Diese Erfahrungen erklären sich aus dem Umstande, daß die Zellenzerreißung, namentlich durch das Anschießen von Eiskrystallen in den Intercellularräumen, in denen nach den neueren Untersuchungen die Eisbildung beginnt, eine Rolle bei dem Vorgange spielt.

Ferner ist es natürlich für die schädliche Wirkung nicht gleich, ob die Eiskrystalle, die bei den niedrigeren Wärmegraden, bei dem vollständigen Steiffrieren, in größerer oder kleinern Anzahl sich bilden (und die ihrerseits nach den schönen Untersuchungen von Müller-Thurgau nur aus ziemlich reinem Wasser bestehen) da

ja davon abhängig sein wird, in welchem Grade der übrig bleibende Zellsaft konzentriert wird, bis er endlich die Fähigkeit als Träger des Lebens aufzutreten verliert. Auch die Wiederholung des schädlichen Eingriffes wird aus diesem Grunde nicht gleichgültig für das Resultat sein.

143. Niedere Pflanzenformen sind im allgemeinen wie gegen höhere Wärmegrade so auch gegen sehr tiefe besonders unempfindlich, wie ja mit der Einfachheit der Organisation die Widerstandsfähigkeit gegen die brutalen äußeren Gewalten ganz allgemein zusammenzugehen pflegt. Für die Pilze der Bierhefe hat man nahe bei 100° C. unter Null die Erfrierungstemperatur noch nicht aufgefunden. Man kann also sagen, diese kleinen Wesen wie die noch kleineren Spaltpilze können überhaupt nicht erfrieren, wobei übrigens auch an die Gefrierpunkterniedrigung in Gefäßen von sehr kleinen Dimensionen und also an eine verzögerte Eisbildung zu denken wäre.

144. Über die besondere Abhängigkeit einzelner Vorgänge des Pflanzenlebens Angaben zu machen, liegt dem Zwecke dieser Darstellung fern. Von Interesse ist es nur hervorzuheben, daß das Wachstum der Pflanzen ganz allgemein bei gewissen mittleren Temperaturen am rascheſten verläuft, während darunter und darüber eine Abschwächung eintritt, bis bei den Grenztemperaturen endlich das Wachstum erlischt. Allein diese mittleren Wärmegrade liegen für unsere Gegenden fast immer oberhalb der gewöhnlich in der Natur erreichten, so daß praktisch die gewöhnliche Ausdrucksweise, je höher die Wärme, je schneller das Wachstum, doch ganz zutreffend ist. Z. B. der junge Weizen wächst am rascheſten ungefähr bei 29° C., langsamer bei 24° und bei 34°; aber Wachstum ist noch möglich bis herunter zu etwa 7° und herauf bis gegen 43°. Außerhalb dieser Grenzen wächst er nicht mehr, aber er lebt noch, bis er endlich bei etwa 45° und so und so viel unter Null abstirbt. Da die Luft und die stark verdunstende und sich dadurch erkältende Pflanze aber nur an sehr heißen Sommertagen 29° C. überschreitet, so können wir für unsere Verhältnisse der gemäßigten Zone auch sagen, starke Wärme begünstige das Wachstum.

Diese verschiedenen Wärmegrade liegen nun natürlich auch

für verschiedene Pflanzen etwas verschieden. Für wärmebedürftige Pflanzen liegen alle die einzelnen Stufen einige Grade höher; das gegebene Bild bleibt aber immer ein ähnliches.

145. Andere Lebensvorgänge wie die Pflanzenatmung scheinen fortwährend mit der steigenden Temperatur zu wachsen, bis dann plötzlich ein jäher Abfall nahe an der Tötungstemperatur der Pflanze erfolgt. Da die Atmung von Null ab auch sonst genau in denselben Verhältnissen wie unsere von da an gezählten Grade zu wachsen scheint, so haben die „Wärmesummen“, bis dahin ein sehr willkürlich gewählter und unwissenschaftlicher Ausdruck, eine gewisse Bedeutung für die Abschätzung der von einer Pflanze oder einem Pflanzenteil vollzogenen Gesamtatmung. Man hat z. B. häufig behauptet, daß die Knospen eines Baumes im Frühjahr dann aufbrächen, wenn die Wärmegrade eines jeden Tages von Neujahr ab, zu einander addiert, eine gewisse, immer gleiche Summe, die Wärmesumme gäbe, woraus man also genau den Tag des Aufbrechens bestimmen könne. Die botanischen Gärten von Gießen und Upsala in Schweden ließen z. B. ihre Syringen erblühen am 30. April am 14. Juni bei den beinahe gleichen Wärmesummen von 1550 und 1580°. Zwei Tage von 7° mittlerer Wärme sollten z. B. eben so viel vorwärts bringen wie einer von 14°.

Einer ähnlichen Wärmesumme sollten auch die Feldgewächse in den verschiedensten Klimaten bis zur Erreichung ihrer Fruchtreife bedürfen, obwohl man mit der Einpassung der Thatsachen in diesem letzteren Falle weit weniger glücklich war. — Nun ist klar, daß bei der festgestellten Abhängigkeit der Atmung von der Temperatur die Wärmesummen wenigstens maßgebend sind für die durch Atmung verbrannte Substanz, und wenn sich herausstellen sollte, daß mit einer bestimmten, ein für allemal feststehenden Atmung eine Knospe geschickt wäre aufzubrechen, daß in der Atmung nur eine Art vorbereitender Arbeit geleistet würde, so würde in das reine Erfahrungsgesetz der Wärmesummen vielleicht trotz allem noch ein wissenschaftlicher Sinn gebracht werden können.

146. Die Kenntnis der Wärmeansprüche der Gewächse hat ihre Konsequenzen sowohl für die praktischen Maßregeln zur Behütung unserer Kulturen vor schädigenden Temperatureinflüssen

als auch für das Verständnis der geographischen Verbreitung der Pflanzen. In Bezug auf den letzteren Gegenstand mögen hier einige Worte genügen. Da die Wärmeverhältnisse mit großer Regelmäßigkeit über die Erdoberfläche verteilt sind, während andere Vegetationsbedingungen, wie Nässe und Trockenheit, Bodenreichtum und Armut daselbst sehr willkürlich zerstreut sind, so ist es klar, daß die Pflanzenverteilung, setzen wir nur eine gewisse Wanderungsfähigkeit der Gewächse voraus, in erster Linie durch die Temperaturen geregelt sein werden. In der That ist diese Anordnung so in die Augen springend, daß wir geradezu von der tropischen Vegetation, von der Vegetation der gemäßigten Zone, von der arktischen Vegetation u. s. w. reden, wobei jede besondere Zone ihre eigentümlichen Pflanzenarten in sich einschließt.

147. Trotzdem zeigen die geographischen Grenzen des Vorkommens eines natürlichen, oder des Anbaues eines kultivierten Gewächses ihren besonderen Verlauf, der auch durch den lokalen Charakter der übrigen Lebensbedingungen sich nicht immer erklären läßt. Ich meine natürlich hier nicht Abweichungen von den Breitegraden, die ja keineswegs ganz streng über Ländereien von gleichen Temperaturverhältnissen hinführen, sondern Abweichungen von den Linien, welche die Orte gleicher mittlerer Jahreswärme mit einander verbinden, und die wir Isothermen nennen. Warum Isothermen und Breitegrade nicht zusammenfallen oder warum Orte, die das Jahr hindurch in ganz gleicher Weise von der Sonne beschienen werden, nicht gleich warm sind, ist bekannt genug. Die nähere und unregelmäßige Gestaltung unserer Erdoberfläche ist daran Schuld, daß warme und kalte Meeresströmungen die Küsten der Kontinente umspülen und dort die Temperatur über Gebühr erhöhen, dort dieselbe herunter drücken. Die verschieden große Erwärmungsfähigkeit von Wasser und Land ist daran schuld, daß Binnenländer im Sommer sehr heiß, im Winter sehr kalt, daß Inseln und Küstenländer mehr ausgeglichen in ihrer Temperatur erscheinen.

Die letztere Thatsache trägt nun aber dazu bei, etwas von den aufgeworfenen Fragen zu erklären. Ungleichartige Verteilung einer und derselben Jahrestemperatur über Winter und Sommer muß für das Pflanzenwachstum von empfindlichem Einfluß sein,

da ja in der Regel nur ein Teil des Jahres als Vegetationsperiode in Betracht kommt, da es sich vielfältig um Vermeidung schädlicher Grenztemperaturen und nicht bloß um die gleiche Wärmesumme handelt. Berücksichtigen wir dies, so ist alles übrige leicht zu erklären. Die Abweichungen der Nordgrenzen der (in der Kultur) einjährigen Gewächse sind alle in dem Sinn, daß sie im Kontinentalklima zu höheren Breiten hinaufsteigen.

In Sibirien kann noch Weizen gebaut werden, bei einer mittleren Jahrestemperatur von Null Grad, wo also im Verlaufe der Jahreszeiten das Thermometer ebenso oft unter als über dem Eispunkt steht. An der Nordspitze von Schottland erlischt diese Möglichkeit schon bei einer Jahreswärme von 8° C. Dies einfach deshalb, weil es für diese Kultur beinahe nur auf die Sommertemperatur ankommt, und die letztere für das kontinentale Sibirien eine verhältnismäßig hohe ist.

Den Sommergewächsen folgt dann noch der Weinstock in seinen Abweichungen von den Isothermen, weil es sich für diesen zu einer nutzbringenden Kultur um eine hohe Sommertemperatur handelt, die, wie wir uns ausdrücken können, viel Stärke in die Beeren wandern läßt und in Zucker verwandelt, die, wie der Volksmund spricht, die Trauben garkocht.

Die übrigen baumartigen Gewächse zeigen dagegen Abweichungen im umgekehrten Sinne, weil ihnen, die zum Überwintern im Freien gezwungen sind, allzustarke Winterkälten und Spätfröste im Frühlinge eine Grenze setzen. Man denke an die immergrünen Laubhölzer Süd-Englands, die schon den ungarischen oder tyrolischen Winter nicht mehr ertragen.

148. An allen diesen Gesetzmäßigkeiten und Beengungen vermag der Mensch für seine Zwecke nicht viel zu ändern; er muß die Grenzen, welche die Natur seiner Landschaft gesetzt, anerkennen. Höchstens kann er ausgehen auf die Zucht und die Auswahl geeigneter und widerstandsfähiger Varietäten. Namentlich wird er gern Sämereien verwenden, die durch vorausgehenden Anbau in einem härteren Klima die Unbilden der Witterung gewohnt oder besser gesagt durch natürliche Auswahl auf dieselben gezüchtet sind; von ihnen kann er sich dann ein um so freudigeres Ge-Gedeihen unter den günstiger dargebotenen Verhältnissen versprechen.

149. Sodann besitzt der Mensch einige ganz direkte Mittel, um den ungünstigsten Temperaturen, die auch in diesem Falle wieder die unteren Grenzen des Pflanzenlebens sind, zu widerstehen, von denen eines der merkwürdigsten und theoretisch interessantesten erst in neuester Zeit wieder vielfach empfohlen worden ist. Wir sprachen schon bei dem Erfrierungstode der Pflanzen von einer selbständigen Abkühlung derselben weit unter die Temperatur ihrer Umgebung — wir sagten durch Wärmestrahlung. Gerade wie die Sonne die Erde bestrahlt durch einen Weltraum hindurch, der selber sehr kalt bleibt, gerade so strahlen die erwärmten Gegenstände der Erde wieder ihre Wärme in den Weltenraum und werden dadurch kälter. Es ist dies ein ewiges Geben und Empfangen, und ob ein Körper wärmer wird oder kälter, darüber entscheidet nur die Bilanz aus diesem fortlaufenden Konto. Natürlich tritt der Verlust ins Übergewicht nachts, wenn die Sonne unsere Hälfte der Erde nicht bescheint; ob dabei mehr oder weniger verloren wird, darüber entscheidet die Klarheit der Luft. Ist ein Schirm von Wolken vorhanden, so wird die Strahlung in wirksamer Weise verhindert; oder vielmehr die ausgesandten Strahlen werden von diesem Schirme zurückgeworfen. Daher kommt es natürlich, daß der rohe Volksverstand dem Mondschein die kalten Nächte zumißt. Der Mond scheint nur in klarer Nacht, er ist ein Zeichen für den Zustand der Atmosphäre, in welchem viel Wärme durch Strahlung verloren geht, gerade wie der vorrückende Zeiger einer Uhr das Zeichen für die schwindende Zeit ist, und nicht die Zeit erst macht.

150. Könnte man also in gefährlichen Frühjahrsnächten, wo wie beim Weinbau in wenig Stunden das Los über den kostbaren Ertrag des ganzen Jahres geworfen wird, den Zustand der Luft etwas in der Weise abändern, daß die Pflanzen wenigstens nicht kälter werden können, als die Luft selber ist, so dürften dafür schon einige Mühe und Kosten verwendet werden. Das Mittel, was schon der tastende Verstand alter und ungelehrter Völker in dieser Richtung aufgespürt hatte, ist erst in neuester Zeit einer wissenschaftlichen Erklärung zugänglich geworden. Es ist dies die schon von den Römern und den Ureinwohnern Perus geübte Raucherzeugung oberhalb der bedrohten Grundstücke. Man macht

einfach durch Entzündung qualmender Stoffe in klaren und natürlich auch windstillen Nächten — und nur in solchen ist die Gefahr groß — künstliche Wolken, wenn die natürlichen fehlen.

Und zwar sind es, wie eingehende Untersuchungen lehren, nicht bloß die undurchsichtigen Teile des Rauches, welche die Strahlung hindern. Der englische Physiker Tyndall hat gezeigt, daß alle möglichen gasförmigen aber schwerflüchtigen Substanzen, wie sie massenhaft dnrch unvollständige Verbrennung entstehen, unter anderen auch ganz durchsichtiger Wasserdampf, die Durchstrahlbarkeit der Luft für die dunkeln Wärmestrahlen aufs äußerste beeinträchtigen.

Dann ist wenigstens nach der allerdings zur Zeit sehr erschütterten Auftautheorie nicht bloß Gewicht zu legen auf die Vermeidung der tiefsten Temperatur durch Beschränkung der Strahlung, sondern ebenso auf die Verhinderung eines raschen Temperaturüberganges der erstarrten Triebe. Auch dies leistet der Rauch, indem er noch morgens über dem Boden lagernd, die ersten Sonnenstrahlen von der Pflanze abhält. Man hat erst später auch diese Seite der Methode mit ins Auge gefaßt.

Soweit die Theorie dieses merkwürdigen Verfahrens. Ob die Praxis gerade in unseren Klimaten sich dauernd mit ihr befreunden wird, ist freilich eine andere Frage. Aber für die Theorie ist es hochwichtig, von einer jeden Möglichkeit einer erneuten Ausdehnung der Herrschaft über die Natur Notiz zu nehmen, weil nur die Erweiterung unseres Geistes uns eine Anwartschaft auf dies Endziel alles praktischen Strebens giebt.

Druck von Hermann Beyer & Söhne in Langensalza.

